



UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

## **TESIS DOCTORAL**

**ComBLA:**

**La Aplicación del Análisis de Dominios  
al Desarrollo de Sistemas de  
Aprendizaje Asistido por Ordenador**

**Autor:**

David Díez Cebollero

**Directores:**

Dra. Camino Fernández Llamas

Dr. Ignacio Aedo Cuevas

**DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA**

Leganés, Abril de 2009



# TESIS DOCTORAL

**ComBLA:**

## **La Aplicación del Análisis de Dominios al Desarrollo de Sistemas de Aprendizaje Asistido por Ordenador**

**Autor:** David Díez Cebollero

**Directores:** Dra. Camino Fernández Llamas  
Dr. Ignacio Aedo Cuevas

Firma del Tribunal Calificador:

Firma

Presidente:

Vocal:

Vocal:

Vocal:

Secretario:

Calificación:

Leganés, de de



**Dedicado a:**

*Raquel,  
porque sin ella no habría nada.*

*Mis padres,  
por haberme enseñado el valor del trabajo constante.*

*Mi hermana Esther y su marido Greg,  
por haberme ayudado a superar el mayor de los obstáculos:  
mi resquemor a la lengua inglesa.*



# Agradecimientos

En primer lugar, y sin ánimo de ser complaciente ni ritual, a mis Directores de Tesis: Camino Fernández e Ignacio Aedo. Por su paciencia, sus atinados comentarios y, sobre todo, por haber cumplido su palabra.

Agradecimiento que quiero extender a todos mis compañeros del DEI, y a todas aquellas personas que de un modo u otro han participado en la elaboración de esta tesis. En particular, a Juan Manuel Dodero, porque sin sus «comentarios de café» nunca habría sido capaz de acometer este trabajo.

Aunque no tengan una relación directa con el trabajo llevado a cabo, mi más sincero agradecimiento (por estricto orden alfabético) a Chema, Dani, Jesús, Mario, Martín, Paco, Víctor y Vito. Por los buenos momentos compartidos, por las dificultades superadas en común, porque en gran medida contribuyeron a ser lo que soy. Mi agradecimiento por su amistad... y mis disculpas por estos años de lejanía.

A todos mis amigos, de aquí y de allá, porque de todos ha quedado algo en mí. De manera especial, a José Luis Villapalos por haberme enseñado tanto, y a Fernando Paniagua porque un simple correo electrónico puede cambiar toda tu existencia.

A Irene, María, Jorge, Juanlu, Sergio, Carlos, Fraga, Diego, Custo, David y, en general, a todos los alumnos a los que he tenido la suerte de impartir clase durante estos años. Porque cada duda formulada, cada práctica corregida, cada clase impartida ha sido un nuevo acicate para continuar con mi trabajo.

Por último, porque los últimos serán los primeros, mi más sincero agradecimiento a mi familia. No es necesario explicar el porqué.





*Disce quasi semper victurus,  
vive quasi cras moriturus.*



# Resumen

El diseño de la instrucción asistida por ordenador es un proceso complejo que requiere tanto del diseño del proceso instructivo como de la elaboración de un producto informático acorde al mismo. Fruto de esta dificultad ha surgido una línea de investigación encaminada a mejorar el proceso de desarrollo del software para la instrucción. Una de las etapas más sensibles de este proceso de desarrollo, y uno de los motivos fundamentales de la calidad del producto elaborado, es la fase de análisis. El problema radica en la ausencia de herramientas adecuadas, capaces de estudiar y representar las distintas perspectivas presentes en el desarrollo de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador.

El objetivo de la presente tesis doctoral es definir un método de análisis para el desarrollo de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador basado en la aplicación del Análisis de Dominios al campo de la Enseñanza Asistida por Ordenador. El método definido proporciona: (1) Una serie de artefactos que permitan representar adecuadamente el conocimiento de un dominio instructivo; y (2) Una secuencia de pasos que permita analizar el problema en toda su complejidad. La intención final es aumentar la sistematización del análisis, proporcionando medios que fomenten la reutilización de componentes y la integración del conocimientos de los distintos participantes en el proceso de análisis.

La aplicación de distintos métodos de evaluación ha permitido probar la calidad, utilidad y eficacia de la solución para estudiar un dominio instructivo, representar el conocimiento intrínseco al mismo, y analizar un sistema de aprendizaje asistido por ordenador tomando como referencia el modelo de dominio correspondiente. Así mismo, se han podido identificar una serie de líneas de actuación que guíen posibles trabajos futuros. Trabajos futuros encaminados a incrementar la automatización del proceso de desarrollo.



# Abstract

The design of computer-supported instructions is a complex process. It requires both the design of the instruction process and the production of a software product that fits such a process. As a consequence of this shortcoming, a specific research field has emerged. This field aims at improving the development process of courseware. The analysis phase is one of the most important stages of the development process, and one of the most relevant drivers of the final product quality. The problem lies on the absence of precise analysis tools. Knowledge methods do not provide mechanisms to study and to represent the different perspectives in the development of computer-supported learning systems.

The main objective of this PhD thesis is to provide a method of analysis for the study of computer-supported learning systems based on a Domain Analysis technique. The method proposes: (i) the compilation of the knowledge of an instructional domain; and (ii) A set of rules that allows the study of the problem in all its complexity. The final purpose is to increase the systematization of the analysis, providing mechanisms to promote the reuse of instructional materials and to integrate knowledge from the different participants in the analysis process.

The application of different evaluation methods has allowed the validation of the quality, the utility and the efficacy of the method to study an instructional domain, to represent the knowledge of such a domain, and to analyze a computer-supported learning system that takes as a basis the appropriate domain model. Furthermore, a number of research issues has been proposed for future work. Amongst others, the potential to increase the automatization of the development process has been deemed as one of main research needs for the future.



# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivos . . . . .	4
1.2. Aportaciones previstas . . . . .	7
1.3. Metodología . . . . .	8
1.4. Estructura del trabajo . . . . .	11
<b>2. Estado de la cuestión</b>	<b>13</b>
2.1. El concepto de análisis . . . . .	14
2.1.1. La definición del análisis . . . . .	14
2.1.2. La epistemología del análisis . . . . .	16
2.2. El desarrollo de la instrucción . . . . .	21
2.2.1. El proceso de desarrollo de la instrucción . . . . .	22
2.2.2. El análisis de sistemas para la instrucción . . . . .	23
2.2.3. Modelos de desarrollo de sistemas para la instrucción . . . . .	25
2.3. El desarrollo de software . . . . .	34
2.3.1. El proceso de desarrollo de software . . . . .	34
2.3.2. El análisis de sistemas informáticos . . . . .	35
2.3.3. Técnicas de análisis de sistemas informáticos . . . . .	37
2.4. El desarrollo de software para la instrucción . . . . .	48
2.4.1. El software para la instrucción . . . . .	48
2.4.2. Métodos de desarrollo de software para la instrucción . . . . .	51

<b>3. Planteamiento del problema</b>	<b>63</b>
3.1. El objeto del análisis . . . . .	65
3.1.1. La enseñanza asistida por ordenador . . . . .	65
3.1.2. Un método de análisis correcto . . . . .	68
3.2. La ejecución del análisis . . . . .	69
3.2.1. Los actores del proceso de desarrollo . . . . .	70
3.2.2. Un método de análisis eficaz . . . . .	72
3.3. El análisis del software para la instrucción . . . . .	74
3.3.1. La evaluación de las propuestas existentes . . . . .	74
3.3.2. La concreción del problema . . . . .	78
<b>4. Definición de la solución</b>	<b>79</b>
4.1. La propuesta de solución . . . . .	80
4.1.1. Los fundamentos de la solución . . . . .	80
4.1.2. El glosario de conceptos . . . . .	86
4.1.3. El método ComBLA . . . . .	95
4.2. El modelo de análisis . . . . .	101
4.2.1. La representación del problema . . . . .	102
4.2.2. El modelo de dominio . . . . .	113
4.2.3. El modelo de sistema . . . . .	134
4.3. El proceso de análisis . . . . .	159
4.3.1. El estudio del problema . . . . .	160
4.3.2. El análisis del dominio . . . . .	170
4.3.3. El análisis del sistema . . . . .	186



<b>5. Evaluación de la solución</b>	<b>203</b>
5.1. La evaluación en la investigación científica . . . . .	204
5.1.1. El proceso de evaluación . . . . .	204
5.1.2. Los mecanismos de evaluación . . . . .	205
5.2. El diseño de la evaluación . . . . .	207
5.2.1. El plan de evaluación . . . . .	207
5.2.2. El objetivo de la evaluación . . . . .	208
5.2.3. El método de evaluación . . . . .	211
5.3. La comprobación de la solución . . . . .	214
5.3.1. La evaluación analítica . . . . .	214
5.3.2. La evaluación experimental . . . . .	229
5.3.3. La evaluación experta . . . . .	234
5.4. El análisis de resultados . . . . .	244
5.4.1. La labor de análisis . . . . .	244
5.4.2. La aplicación del análisis de dominios . . . . .	260
<b>6. Epílogo</b>	<b>277</b>
6.1. Epítome del trabajo . . . . .	278
6.2. Conclusiones . . . . .	280
6.3. Aportaciones . . . . .	284
6.4. Trabajos futuros . . . . .	286
<b>A. El compendio del trabajo</b>	<b>289</b>
<b>B. El modelo de información</b>	<b>295</b>
<b>C. La prueba de concepto</b>	<b>321</b>
<b>D. Los cuestionarios de evaluación</b>	<b>373</b>



# Índice de tablas

3.1. Revisión del proceso de análisis de las propuestas existentes . . . . .	75
3.2. Revisión del producto del análisis de las propuestas existentes . . . . .	77
4.1. Fuentes de información de un dominio instructivo . . . . .	91
4.2. Descripción de los roles existentes en el método ComBLA . . . . .	96
4.3. El modelo de análisis del método ComBLA . . . . .	98
4.4. El proceso de análisis del método ComBLA . . . . .	100
4.5. Resumen de alternativas para el modelado del dominio . . . . .	110
4.6. Resumen de alternativas para el proceso de análisis . . . . .	169
4.7. Productos del proceso de análisis del dominio del método ComBLA .	171
4.8. Actividades del proceso de análisis del dominio del método ComBLA	172
4.9. Relación entre actividades y productos del análisis del dominio . . . .	173
4.10. Estructura del documento de identificación del dominio . . . . .	176
4.11. Estructura del documento de contexto . . . . .	179
4.12. Productos del proceso de análisis del sistema del método ComBLA .	187
4.13. Actividades del proceso de análisis del sistema del método ComBLA .	188
4.14. Relación entre actividades y productos del análisis del sistema . . . .	189
4.15. Estructura del documento de alcance de sistema . . . . .	192
5.1. Relación entre objetivos de evaluación y objetivos del trabajo . . . .	210
5.2. Relación entre métodos de evaluación y objetivos . . . . .	212

5.3.	Resumen de objetivos de evaluación y métodos de evaluación . . . . .	213
5.4.	Cualidades a valorar mediante el análisis estático . . . . .	218
5.5.	Factores a considerar en el análisis estático de la corrección . . . . .	220
5.6.	Factores a considerar en el análisis estático de la consistencia . . . . .	221
5.7.	Formulario de evaluación de la completitud del método . . . . .	224
5.8.	Formulario de evaluación del carácter sistemático del método . . . . .	225
5.9.	Formulario de evaluación del carácter orientado a reutilización . . . . .	227
5.10.	Tareas a ejecutar durante la prueba de concepto . . . . .	233
5.11.	Preguntas cerradas recogidas en el cuestionario de evaluación . . . . .	238
5.12.	Resumen del perfil de los evaluadores participantes . . . . .	242
5.13.	Resumen de las respuestas obtenidas en las preguntas cerradas . . . . .	243
6.1.	Relación entre objetivos del trabajo y aportaciones . . . . .	286
A.1.	Relación de los objetivos del trabajo con problemas, hipótesis y aportaciones . . . . .	293

# Índice de figuras

2.1. Modelo de diseño de la instrucción. Modelo ADDIE . . . . .	26
2.2. Modelo de diseño de la instrucción. Modelo de Kemp . . . . .	29
2.3. Modelo de Kemp. Actividades por etapas del proceso. . . . .	29
2.4. Modelo de diseño de la instrucción. Modelo de Dick & Carey . . . . .	31
2.5. Modelo de diseño de la instrucción. Modelo ASSURE . . . . .	33
4.1. Participantes en el proceso de análisis de dominios . . . . .	85
4.2. Participantes en el proceso de análisis de un sistema de aprendizaje . . . . .	85
4.3. Elementos definitorios de un dominio instructivo . . . . .	116
4.4. Modelo conceptual del diccionario del dominio . . . . .	119
4.5. Modelo conceptual del diagrama de conceptos . . . . .	122
4.6. Modelo conceptual del diagrama de características . . . . .	124
4.7. Sintaxis del diagrama de características . . . . .	127
4.8. Modelo conceptual de las reglas de negocio . . . . .	132
4.9. Sintaxis del diagrama de entidades . . . . .	145
4.10. Multiplicidad de las relaciones del diagrama de entidades . . . . .	145
4.11. Plantilla de definición de un caso de uso . . . . .	150
4.12. Sintaxis del diagrama de actividades . . . . .	156
4.13. Sintaxis del diagrama de secuencia . . . . .	158
4.14. Criterios para la selección de una metodología de desarrollo [42] . . . . .	165

4.15. Tareas de la actividad de comprobación del modelo de dominio . . . .	185
5.1. Página principal del sitio web para la evaluación experta . . . . .	240
5.2. Extracto del cuestionario <i>online</i> . . . . .	240
5.3. Resultado de la pregunta cerrada P18 . . . . .	248
5.4. Resultado de la pregunta cerrada P14 . . . . .	248
5.5. Resultado de la pregunta cerrada P01 . . . . .	250
5.6. Resultado de la pregunta cerrada P02 . . . . .	250
5.7. Resultado de la pregunta cerrada P03 . . . . .	251
5.8. Resultado de la pregunta cerrada P04 . . . . .	254
5.9. Resultado de la pregunta cerrada P05 . . . . .	256
5.10. Resultado de la pregunta cerrada P06 . . . . .	256
5.11. Resultado de la pregunta cerrada P07 . . . . .	257
5.12. Resultado de la pregunta cerrada P19 . . . . .	260
5.13. Resultado de la pregunta cerrada P08 . . . . .	263
5.14. Resultado de la pregunta cerrada P09 . . . . .	263
5.15. Resultado de la pregunta cerrada P10 . . . . .	265
5.16. Resultado de la pregunta cerrada P11 . . . . .	265
5.17. Resultado de la pregunta cerrada P12 . . . . .	267
5.18. Resultado de la pregunta cerrada P13 . . . . .	267
5.19. Resultado de la pregunta cerrada P15 . . . . .	270
5.20. Resultado de la pregunta cerrada P20 . . . . .	271
5.21. Resultado de la pregunta cerrada P21 . . . . .	273
5.22. Resultado de la pregunta cerrada P16 . . . . .	275
5.23. Resultado de la pregunta cerrada P17 . . . . .	276
B.1. Estructura del documento XML del diccionario del dominio . . . . .	296

B.2.	Estructura del documento XML del diagrama de conceptos . . . . .	302
B.3.	Estructura del documento XML del diagrama de características . . .	308
B.4.	Estructura del documento XML de reglas de negocio . . . . .	314
C.1.	Extracto del glosario de términos específicos del dominio instructivo .	335
C.2.	Extracto del glosario de términos sobre diseño de la instrucción . .	336
C.3.	Extracto del diagrama de conceptos - Objetivos . . . . .	341
C.4.	Extracto del diagrama de conceptos - Tareas . . . . .	341
C.5.	Extracto del diagrama de características - Objetivos educativos . .	344
C.6.	Extracto del diagrama de características - Contenidos . . . . .	347
C.7.	Extracto del diagrama de características - Actividades de aprendizaje	347
C.8.	Extracto del diagrama de características - Estudiantes . . . . .	348
C.9.	Extracto del diagrama de características - Actividades de soporte . .	348
C.10.	Extracto del diagrama de características - Estrategias . . . . .	349
C.11.	Extracto del diagrama de características - Servicios . . . . .	350
C.12.	Extracto de la configuración del sistema - Proceso instructivo . . . .	365
C.13.	Extracto de la configuración del sistema - Contenidos . . . . .	366
C.14.	Extracto de la configuración del sistema - Contenidos refinados . . .	366
C.15.	Extracto de la configuración del sistema - Sistema software . . . . .	369





# Capítulo 1

## Introducción

*”Y así, sin dar parte a persona alguna de su intención, y sin que nadie le viese, una mañana, antes del día, que era uno de los calurosos del mes de julio, se armó de todas sus armas, subió sobre Rocinante, puesta su mal compuesta celada, embrazó su adarga, tomó su lanza, y, por la puerta falsa de un corral, salió al campo con grandísimo contento y alborozo de ver con cuánta facilidad había dado principio a su buen deseo.”*

**Don Quijote de la Mancha**

Miguel de Cervantes

La Declaración Universal de los Derechos Humanos [120] encumbra a la educación como una de las actividades fundamentales para el desarrollo pleno de la personalidad del individuo. Según la Real Academia de la Lengua Española, la educación se define como el acto de desarrollar o perfeccionar las facultades intelectuales y morales de un tercero por medio de preceptos, ejercicios y ejemplos [126]. De acuerdo con esta definición, la educación debe concebirse como un proceso dual que aúna el aprendizaje del alumno o discípulo, y la enseñanza por parte del profesor o maestro. La coexistencia de esta doble vertiente en el proceso educativo confiere una especial relevancia a la labor de instrucción. La instrucción es una actividad, englobada en el campo de la educación, que tiene por objetivo optimizar la experiencia de aprendizaje mediante la transmisión sistemática de ideas, conocimientos o normas.

El proceso instructivo abarca el conjunto de tareas que permiten activar la atención y la percepción, mejorar la organización de nueva información, y fomentar la capacidad de abstracción [64]. No se trata, en consecuencia, de un suceso fortuito, sino de una actividad compleja regida por una serie de principios y pautas que condicionan su puesta en práctica. La necesidad de generalizar la definición y puesta en práctica de técnicas instructivas adecuadas llevó a la aparición de una disciplina conocida como Diseño de la Instrucción [17, 23, 143]. El Diseño de la Instrucción (ID, *Instructional Design*) es un campo de trabajo orientado a comprender y explicar el proceso de aprendizaje a fin de establecer los medios adecuados que permitan alcanzar unos objetivos educativos específicos [50]. La práctica del ID tiene por objetivo la elaboración de una serie de teorías y modelos que describen la labor de instrucción [76]. Entre los modelos instructivos resultan especialmente significativos los conocidos como «modelos prescriptivos de diseño». Un modelo prescriptivo de diseño permite obtener, de manera razonada y sistemática, un recurso de aprendizaje acorde a una forma de enseñanza y a unas condiciones previamente establecidas [55]. Los modelos prescriptivos de diseño establecen la base teórica sobre la cual se asienta la etapa de desarrollo de recursos instructivos, dando lugar a una actividad específica conocida como Desarrollo de Sistemas para la Instrucción [129, 146].

La actividad de Desarrollo de Sistemas para la Instrucción (ISD, *Instructional Systems Development*) comprende la aplicación de una metodología de desarrollo a la creación de cursos y planes de estudio [4]. Tradicionalmente, el desarrollo de sistemas para la instrucción se ha considerado como un proceso lineal que establece una secuencia de pasos, dónde el resultado de cada uno de las fases se toma como entrada de la fase siguiente [43]. En concreto, el proceso de desarrollo de la instrucción se suele dividir en cinco etapas: análisis de la instrucción, diseño del recurso, producción, implementación y mantenimiento del recurso instructivo [82]. Asociadas a cada una de estas etapas existen objetivos y tareas específicas; así, por ejemplo, la fase de análisis es responsable de estudiar un problema instructivo a fin de establecer las condiciones en las cuales se utilizará el recurso elaborado. El análisis del problema instructivo abarca la especificación de los contenidos a impartir, la definición del perfil del alumno, la enumeración de los objetivos educativos a satisfacer y la identificación del contexto educativo, condiciones administrativas y organizativas, en las cuales se desarrollará la instrucción [63].

En los últimos veinte años, de manera paralela a la evolución de las ciencias de la computación, se ha impulsado un nuevo campo de trabajo encaminado a integrar las tecnologías de la información y el diseño de la instrucción. Esta línea de actuación, conocida como *Instructional Design and Technology* (IDT), tiene por objeto la mejora del proceso instructivo mediante la aplicación de medios tecnológicos a los escenarios de aprendizaje [130]. Entre las áreas de trabajo existentes, el desarrollo de recursos educativos asistidos por ordenador ha alcanzado especial significación. En este contexto, la actividad de ISD se puede considerar como un caso particular del desarrollo de sistemas informáticos [71]. Basándose en esta afirmación, y centrándonos en la fase de análisis del proceso de desarrollo, sería razonable esperar una actividad encargada no sólo del estudio de un problema instructivo sino también responsable de especificar las características del sistema informático que asistirá al proceso de aprendizaje. Sin embargo, los trabajos existentes sobre el desarrollo de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador se han centrado fundamentalmente en la adaptación de las etapas de diseño y despliegue del sistema [71, 122], limitando la labor de análisis, de manera análoga a los modelos de ISD tradicionales, a la definición de las condiciones del problema instructivo a resolver. Esta forma de trabajo limita la eficacia de los modelos existentes. A fin de superar esta limitación, el presente trabajo propone la definición de un método de análisis, denominado *Computer-Based Learning Analysis* (ComBLA), capaz de integrar tanto el estudio del problema instructivo como la definición del sistema informático que asistirá el proceso educativo.

Utilizando principios del desarrollo de software y enseñanzas de los modelos de desarrollo de la instrucción, el método ComBLA estudia un escenario de aprendizaje desde distintos puntos de vista, proporcionando artefactos que permitan la adecuada especificación del problema. El método propuesto establecerá las bases para resolver en etapas iniciales del proceso de desarrollo algunos de los problemas habituales en la elaboración de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador: la dificultad de elaborar recursos instructivos adecuados sin experiencia previa en el diseño de la instrucción, la existencia de distintos puntos de vista, y el solapamiento entre las diferentes perspectivas del problema. Todos ellos, factores que dificultan la automatización del proceso y limita la reutilización de recursos.

## 1.1. Objetivos

La finalidad del presente trabajo es realizar una aportación significativa en el campo de la enseñanza asistida por ordenador. Con este propósito, se plantea como **objetivo principal** la formulación de un método para el análisis de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador basado en la aplicación del análisis de dominios al contexto de la enseñanza asistida por ordenador. El método proporcionará artefactos adecuados para estudiar y especificar las distintas perspectivas presentes en el desarrollo de este tipo de sistemas, tales como:

- El proceso instructivo. El análisis debe contemplar el estudio de aquellos factores que condicionan el proceso de instrucción. Entre los mismos, se encuentra la definición de objetivos instructivos, la identificación del perfil del alumno o el estudio de las estrategia instructiva más adecuada.
- El sistema software. La definición de la forma en la cual el aprendizaje será asistido por un sistema informático. El análisis es responsable de especificar las necesidades y condiciones del sistema software utilizado durante el proceso de aprendizaje.
- El entorno del sistema. Un sistema de aprendizaje asistido por ordenador será utilizado en un contexto instructivo y de aplicación determinado. El análisis debe especificar las condiciones de utilización del sistema.

Un método de estas características permitirá mejorar la fase de análisis, incrementando la independencia de los expertos del dominio, mejorando la comunicación entre los participantes en el proceso de desarrollo, facilitando la identificación de recursos instructivos reutilizables, y estableciendo las bases para una mayor automatización del proceso de desarrollo. A fin de alcanzar el objetivo general del trabajo es necesario satisfacer una serie de **objetivos específicos** que delimitan el alcance de la solución. Los objetivos específicos se plantearan agrupados de acuerdo al propósito del método, el análisis de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador, y a la técnica de análisis empleada, el análisis del dominio instructivo.

## Objetivos relativos a la labor de análisis

Los objetivos relativos a la labor de análisis establecen el conjunto de requisitos o características que debe cumplir la propuesta de solución para considerarse un método de análisis válido.

**O.1.1.** Proporcionar un método de análisis correcto, entendiendo por tal un método que respete los principios propios de la labor de análisis. Un método de análisis correcto deberá disponer tanto de un proceso de análisis que guíe la labor de estudio como de un modelo de análisis que determine la forma de especificar el problema.

**O.1.2.** Disponer de un método que permita la especificación completa del problema, evitando omisiones que puedan suponer la incompreensión de algunos de los factores presentes en el mismo. La completitud del método implica la especificación tanto del proceso de negocio como de las características del sistema software que lo soporta.

**O.1.3.** Disponer de un método que asegure la consistencia entre sus distintos componentes. La consistencia entre componentes se tratará desde dos puntos de vista: (1) No existe contradicción entre las actividades del proceso; y (2) Existe correspondencia entre el proceso ejecutado y los productos obtenidos.

**O.1.4.** Disponer de un conjunto de actividades de análisis bien organizado y estructurado. La obtención de un método sistemático requiere de la definición minuciosa y de acuerdo a un patrón conocido de cada una de las actividades de análisis.

**O.1.5.** Proporcionar un método de análisis que cumpla los preceptos del diseño orientado a reutilización. El método debe disponer de mecanismos que faciliten la identificación y representación de aspectos comunes a los sistemas de un determinado dominio de aplicación como medio para facilitar la reutilización de componentes.

La ausencia de alguna de estas características permitirá disponer de un método de análisis eficaz, pero infructuoso desde el punto de vista de su calidad y utilidad. La validez de la solución pasa por el cumplimiento de los objetivos enumerados.

## Objetivos relativos al análisis de dominios

Los objetivos relativos al análisis de dominios fijan los hitos que deben ser alcanzados por la solución a fin de disponer de un método de análisis de dominios aplicable al campo de la enseñanza asistida por ordenador. La aplicación del análisis de dominios requiere del cumplimiento de dos premisas: (1) La delimitación precisa del dominio de aplicación; y (2) La existencia de fuentes de información confiables. A fin de satisfacer estas premisas, se establecerán los siguientes objetivos específicos:

**O.2.1.** Definir el concepto de «dominio instructivo». La definición del concepto de «dominio instructivo» permitirá establecer las bases para identificar y delimitar un dominio instructivo cualesquiera.

**O.2.2.** Establecer las fuentes de información propias del contexto de la instrucción. Se identificarán un conjunto de fuentes de información confiables y suficientes para deducir el conocimiento del dominio.

Asimismo, la aplicación del análisis de dominios requiere de mecanismos que permitan estudiar, representar y aplicar el conocimiento intrínseco a un dominio instructivo. El cumplimiento de esta condición se traducirá en la consecución de tres objetivos específicos adicionales:

**O.2.3.** Demostrar la validez del modelado de características como mecanismo para la representación del conocimiento de un dominio instructivo. La aplicación del modelado de características requerirá de una definición de característica adecuada al contexto de la instrucción.

**O.2.4.** Definir el proceso de análisis del dominio. En particular, será imprescindible establecer un conjunto de tareas bien definido que permite delimitar un dominio instructivo de acuerdo a la definición previamente aportada.

**O.2.5.** Definir el proceso de análisis de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador. El proceso de análisis permitirá establecer los objetivos del sistema y definir su configuración básica tomando como referencia el modelo del dominio instructivo.

## 1.2. Aportaciones previstas

El presente trabajo de investigación pretende realizar aportaciones significativas en el desarrollo de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador. En particular, se prevén las siguientes aportaciones:

**A.1.** Un modelo de análisis que abarque la representación del conjunto de realidades presentes en el problema. Se establecerá una serie de artefactos software que permitan la especificación del conocimiento de un dominio instructivo y la definición de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador.

**A.2.** Un proceso de análisis dividido en dos etapas: en primer lugar, se especificará el conocimiento de un dominio instructivo para, a continuación, utilizar dicho conocimiento como base para el estudio de un sistema del dominio. Se definirá el conjunto de actividades de análisis que permiten sistematizar el estudio tanto del dominio instructivo como de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador.

Así mismo, la solución propuesta fija las bases para futuras aportaciones en el campo de la enseñanza asistida por ordenador:

- La automatización del proceso de desarrollo. Una labor de análisis adecuada permite minimizar el número de inconsistencias, evitando la propagación de errores, y facilitando la transformación automática entre modelos o abstracciones del sistema.
- La obtención de un método generativo de desarrollo. La solución propuesta sistematiza el análisis de dominios, facilitando la identificación de los factores que caracterizan a los componentes del dominio.

La solución que se propone en este trabajo de investigación lleva aparejada una serie de cuestiones adicionales, necesarias para la obtención de una metodología que abarcará todo el proceso de desarrollo, pero que no se plantearán como aportaciones directas de la tesis. Entre las mismas, se encuentran la definición de mecanismos de transformación entre modelos, así como la detección y corrección automática de errores. Estos aspectos se proyectarán como futuros trabajos de investigación.

### 1.3. Metodología

El aspecto metodológico del proceso de investigación científica se centra en la definición de la secuencia de pasos que guíe la búsqueda de la solución a un problema determinado. La metodología empleada en el desarrollo de este trabajo se fundamenta en el proceso de investigación científica propuesto por Sierra-Bravo [139], incorporando aspectos del modelo para el estudio de la interacción humana con sistemas complejos descrita por Mitchell y Sundstrom [116]. A continuación, se recoge la secuencia de tareas que han conformado la metodología utilizada en esta investigación:

#### Fase I - Identificación del problema

La fase está encaminada al hallazgo del problema que se pretende abordar. El problema constituye, en sí mismo, tanto el origen del trabajo de investigación como el objetivo final de la labor investigadora. La fase abarca:

**Contexto del problema.** La definición del contexto del problema permite conocer las motivaciones que impulsaron la realización del trabajo. La presente investigación se inscribe en el ámbito del desarrollo de la instrucción asistida por ordenador. Se trata de un campo de trabajo, relativamente reciente, encaminada a la mejora de la instrucción mediante el desarrollo de sistemas informáticos que asistan el proceso de aprendizaje. El desarrollo de la instrucción asistida por ordenador toma como base el conocimiento formulado por el diseño de la instrucción y la ingeniería del software.

**Elección del problema.** Entre las distintas temáticas del contexto se selecciona aquella susceptible de interés. El problema seleccionado debe ser relevante, resoluble y abarcable con los medios disponibles [139].

El trabajo de investigación se centra en la fase de análisis del proceso de desarrollo de software para la instrucción. Se estudiará la labor de análisis, sus principios, utilidad y objetivos, como actividad significativa para la producción de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador.



## Fase II - Determinación del problema

El problema identificado es, en su inicio, abstracto y poco preciso, por lo que es necesario el estudio detallado del mismo a fin de determinar con exactitud su alcance. Forman parte de esta fase las siguientes tareas:

**Estado de la cuestión.** La tarea inicial consiste en el estudio, desde una perspectiva crítica, de trabajos relacionados con el problema identificado. Tomando como base los estudios previos, se realizará una evaluación de los métodos de desarrollo de software para la instrucción definidos hasta el momento. El objetivo de la actividad es conocer las propuestas de análisis existentes, su forma de aplicación en la elaboración de cursos en entornos virtuales, y las posibles carencias de las mismas.

**Definición del problema.** La segunda fase consiste en la definición precisa de la problemática objeto de la investigación. La fase se sustenta sobre las labores previas de estudio y documentación.

El problema a resolver se relaciona con la relevancia de la fase de análisis en el proceso de desarrollo de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador. Una fase de análisis adecuada contribuye a mejorar la calidad del producto elaborado, reduciendo el número de ambigüedades, incoherencias o errores de percepción, y mejorando el grado de reutilización de recursos. Sin embargo, como se pudo constatar en la revisión previa, los modelos existentes presentan carencias que lastran la eficacia de la etapa de análisis.

## Fase III - Definición de la solución

De acuerdo a la problemática y los objetivos del trabajo de investigación, se propone una solución susceptible de evaluación. La fase engloba:

**Objetivos.** A partir de la definición del problema, se establece el objetivo general y los objetivos específicos del trabajo de investigación. Los objetivos delimitan el alcance de la solución propuesta y determinan los criterios de validación de la misma.

El trabajo contempla la definición de un método para el análisis de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador basado en la aplicación del análisis de dominios al contexto de la enseñanza asistida por ordenador. Los objetivos específicos se clasifican en: (1) Objetivos relativos al método de análisis, encargados de disponer de una herramienta de análisis adecuada; y (2) Objetivos relativos al análisis de dominios, responsables de establecer las base para la aplicación del análisis de dominios.

**Propuesta de solución.** Se propone una solución susceptible de verificación que satisfaga los objetivos definidos. La solución propuesta se basa en la adopción de técnicas de la ingeniería del dominios como medio para mejorar el análisis de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador. En concreto, el método tomará como referencia el análisis de dominios.

**Aportaciones previstas.** Recopilación de las aportaciones que se pretenden efectuar mediante la realización de este trabajo de investigación. Entre las aportaciones previstas destacan: (1) La elaboración de un modelo que permita representar adecuadamente el conocimiento involucrado en el proceso; y (2) La definición de un proceso que sistematice el análisis de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador.

## Fase IV - Evaluación de la solución

La fase tiene por objetivo verificar la solución desarrollada, comprobar su validez, analizar los resultados obtenidos, y elaborar conclusiones y propuestas a partir de los mismos. La evaluación comprende las siguientes tareas:

**Comprobación de la solución.** Se realizará una evaluación analítica y experimental de la solución. La evaluación analítica verificará la estructura y formulación del método de análisis, mientras que la prueba de concepto permitirá comprobar la utilidad del método para analizar un sistema de aprendizaje asistido por ordenador. Los resultados obtenidos se complementarán con la realización de una evaluación experta.

**Análisis de resultados.** Aplicados los casos de prueba definidos en la fase anterior, se comparan los datos obtenidos con los resultados esperados. La comparación sirve como base para la elaboración de conclusiones.

## 1.4. Estructura del trabajo

La presente memoria se estructura en seis capítulos, una sección de referencias bibliográficas y cuatro anexos. De manera somera, y excluyendo el presente capítulo, la memoria comprende los siguientes contenidos:

- El capítulo dos describe el estado de la cuestión del contexto de realización del trabajo. El capítulo se ha dividido en cuatro secciones, cada una de las cuales revisa la fase de análisis desde una perspectiva diferente pero significativa desde el punto de vista de los objetivos perseguidos.
- El tercer capítulo valora la información recopilada por el estado de la cuestión y desarrolla, a partir de las carencias e inconvenientes encontrados, el planteamiento del problema. El problema se centra en la ausencia de método de análisis específicos para el desarrollo de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador.
- El capítulo cuatro propone el método ComBLA como solución a la problemática planteada. ComBLA es un método de análisis de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador basado en la aplicación del análisis de dominios al campo de la enseñanza asistida por ordenador. El capítulo presenta los fundamentos del método, detallando el modelo de conocimiento, el proceso de análisis y las posibles alternativas a la solución.
- El capítulo cinco detalla la evaluación de la solución propuesta. La evaluación del método ComBLA se basará en un estudio analítico de las cualidades del método, su estructura y cualidades intrínsecas. La evaluación se completará con la realización de una prueba de concepto y la opinión de expertos en el contexto de realización del trabajo.
- El último de los capítulos recoge a modo de resumen el contexto, el problema y la solución aportada en este trabajo. A su vez, recopila las conclusiones extraídas del mismo y establece futuras líneas de actuación.

En cuanto a los anexos, estos recogen el compendio del trabajo, los cuestionarios empleados durante la evaluación experta y la definición del modelo de información de los productos principales del modelo de dominio. El trabajo se completa con la exposición de la prueba de concepto del método ComBLA.



## Capítulo 2

### Estado de la cuestión

*”Yo creo que, originariamente, el cerebro de una persona es como un pequeño ático vacío en el que hay que meter el mobiliario que uno prefiera. Las gentes necias amontonan en ese ático toda la madera que encuentran a mano, y así resulta que no queda espacio en él para los conocimientos que podrían serles útiles.”*

**Estudio en Escarlata**

Arthur Conan Doyle

El proceso de análisis es parte esencial del modo de trabajo de diversas áreas de conocimiento; sin embargo, su sentido y utilidad varía de unas disciplinas a otras. Tomando en consideración el objetivo del presente trabajo de investigación, parece adecuado concretar el significado del análisis y su utilidad en el contexto en el cual se desarrolla esta tesis: la enseñanza asistida por ordenador.

El capítulo presenta, a modo de estado de la cuestión, un estudio epistemológico sobre la noción de análisis. Así, en primer lugar, se indaga en la definición y concepción del término análisis. A continuación, se presente un resumen de los métodos y herramientas de análisis existentes tanto en el desarrollo de software como en el desarrollo de la instrucción. Finalmente, como núcleo de este estado de la cuestión, se revisará la forma en la cual se contempla la labor de análisis en el desarrollo de software para la instrucción. El objetivo del capítulo es evitar errores de interpretación que puedan llevar a una incorrecta comprensión del trabajo realizado.

## 2.1. El concepto de análisis

El análisis ha tenido una función preponderante en el desarrollo del pensamiento filosófico en la cultura occidental [12]. Del mismo modo, debida a la estrecha relación existente entre los orígenes de la actividad científica y el pensamiento filosófico, la labor de análisis se ha convertido en una herramienta fundamental para la adquisición y representación del conocimiento científico. Esta misma significación del análisis ha dado lugar a distintas concepciones o interpretaciones del análisis, según el área de conocimiento abordada o el momento histórico considerado. En esta sección se profundizará en el sentido y utilidad de la labor de análisis como medio para comprender y conocer la realidad.

### 2.1.1. La definición del análisis

El origen del término análisis se encuentra en la palabra griega *ανάλυσις*. El prefijo *ανα* significa «sobre», mientras que la palabra *λυσις* puede traducirse por «desatar» o «separar». Por tanto, etimológicamente, el análisis hace referencia a:

*Analysis is defined as the process of breaking a concept down into more simple parts, so that its logical structure is displayed*

The Oxford Dictionary of Philosophy - Entrada: analysis [16]

Esta definición del análisis, en oposición al concepto de síntesis, es la más habitual, y tal y como el análisis tiende a ser caracterizado en el habla común:

1. *Distinción y separación de las partes de un todo hasta llegar a conocer sus principios o elementos.*
2. *Procedimiento utilizado para conocer o razonar, que consiste en descomponer el total de objeto del conocimiento en partes, o bien en aplicar a un caso particular una ley general.*

Diccionario de la RAE - Entrada: análisis [126]

De la misma manera, podemos encontrar definiciones similares en diccionarios de referencia de otros idiomas, como el *Oxford English Dictionary*, considerado como el más completo en lengua inglesa, o el *Dictionnaire de l'Académie française*.

1. *A detailed examination of the elements or structure of something.*
2. *The separation of something into its constituent elements.*

The Oxford English Dictionary - Entrada: analysis [142]

1. *Opération consistant à étudier un objet, un tout, en le décomposant en ses éléments constitutifs ; résultat de cette opération.*
2. *Étude détaillée d'un objet, d'un phénomène, etc., afin d'en dégager les éléments constitutifs pour mieux le comprendre, le connaître.*

Dictionnaire de l'Académie française - Entrada: analyse [60]

Las definiciones aportadas se centran en la «estructura lógica» del conocimiento, en la necesidad de descomponer los problemas a fin de conocer su sentido último. Sin embargo, esta es una interpretación parcial del análisis, pudiéndose establecer otras nociones con el mismo valor para la adquisición y representación del conocimiento. De manera resumida, se pueden identificar tres interpretaciones del análisis [11, 12]:

- **Análisis resolutivo.** Basado en la descomposición de los problemas en otros conceptos más generales o de más sencilla comprensión. El análisis pretende recoger las condiciones para la resolución del problema.
- **Análisis regresivo.** Basado en el estudio de las causas del problema. El análisis pretende conocer las motivaciones que originan el problema.
- **Análisis interpretativo.** Basado en la transformación o cambio en la forma de representación del problema. El análisis requiere el empleo de una notación específica para expresar el problema a resolver.

Estas tres interpretaciones no deben verse como contrapuestas o confrontadas entre sí. De hecho, la práctica del análisis conlleva habitualmente la realización, en mayor o menor medida, de las labores intrínsecas a cada una de estas nociones. El siguiente paso nos llevará a profundizar en el origen de cada uno de estas interpretaciones del análisis, a fin de entender la forma de estudio que proponen.

### 2.1.2. La epistemología del análisis

El concepto del análisis, y su percepción como mecanismo para la comprensión de la realidad y formulación de conocimiento, ha variado a lo largo del tiempo. Desde el origen del término en la Antigua Grecia, la historia del conocimiento humano acumula una rica variedad de referencias sobre el concepto de análisis y su aplicación como método científico. Siendo conscientes de la influencia fundamental de la filosofía en otras áreas del conocimiento, la presente sección proporciona una descripción del análisis a partir de las distintas interpretaciones concedidas al término a lo largo de la historia del pensamiento occidental.

#### La Grecia clásica

El concepto de análisis en el pensamiento clásico está íntimamente ligado a la Geometría y su significación para la construcción sistemática de figuras. La utilización del término análisis con un sentido metodológico se remonta a la geometría euclidiana. Tomando como referencia los textos de Pappus de Alejandría [87], se puede establecer una diferenciación entre el análisis teórico y práctico:

- Análisis teórico. Encaminado a buscar la verdad. El análisis se entiende «como la labor por la cual se buscan los principios a partir de los cuales algo puede ser admitido o explicado» [87]. En este sentido, el análisis tiene un evidente carácter regresivo.
- Análisis práctico. Orientado a la resolución de problemas. Previamente a la resolución de un problema es necesario dividirlo en otro más sencillos o evidentes, a fin de poder alcanzar la solución correcta. Este modo de trabajo se corresponde con el análisis resolutivo.

La influencia de la Geometría, y su método de trabajo, es palpable en la concepción platónica del proceso de análisis. Aunque el término análisis no aparece específicamente nombrado en la obra de Platón, su estudio constituye un elemento central de sus diálogos. Así, el «método de división» de Platón establece un modo de trabajo, heredero del análisis práctico, basado en la descomposición de los conceptos estudiados en otros más específicos o precisos [1].



Aristóteles, como discípulo de Platón, heredó buena parte de la concepción platónica del análisis pero sometiéndola a su filtro y revisión. Centrado principalmente en la resolución de problemas lógicos, Aristóteles recupera el carácter regresivo del análisis como elemento esencial para la explicación de su dicotomía «causa-efecto» [12]. El resultado de su actividad intelectual es una concepción del análisis como complemento del proceso de síntesis:

- **Análisis.** Tratado como un método para el descubrimiento de nuevas realidades. El análisis tiene por objetivo alcanzar un nuevo conocimiento a partir de los hechos y relaciones intrínsecas estudiadas. Permite la demostración de los hechos.
- **Síntesis.** Concebido como un método de prueba. Permite derivar una explicación a partir de los nuevos hechos establecidos. Permite la demostración del porqué.

El resultado es la creación del «método de resolución y composición» [1] dónde el análisis, centrado en su visión regresiva, está encaminado al descubrimiento de la realidad tomando como punto de partida sus causas o motivaciones.

## **La Edad Media y el Renacimiento**

Durante la edad media y los primeros siglos de la edad moderna, la visión del análisis apenas varió respecto al pensamiento elaborado en la Antigua Grecia. Los trabajos existentes se limitan a una profundización o toma de partida por alguna de las interpretaciones conocidas: platónica, aristotélica o la visión de los antiguos geómetras. Siendo el método aristotélico de análisis y síntesis el referente en la mayoría de los casos [12].

Únicamente, a mediados del siglo XIV, surge una incipiente forma de interpretación del análisis que puede considerarse como precursora del análisis interpretativo y origen del análisis formal en su sentido moderno [13]. Sin embargo, el inicio del Renacimiento y su absoluto interés por la cultura clásica, impidió el desarrollo de esta nueva forma de pensamiento.

## La Ilustración

La Era de la Razón, surgida en los albores del siglo XVII, y su visión racionalista y empírica de la realidad, llevo a redefinir el concepto de análisis y su sentido metodológico. La revolución científica del momento, fundamentada en técnicas matemáticas más complejas y sofisticadas, obliga a modificar la interpretación aristotélica del análisis. La primera referencia de este proceso se encuentra en los escritos de Thomas Hobbes, quien propone una nueva interpretación del método de análisis y síntesis basado en la mayor significación del carácter resolutivo: el todo se explica mediante el estudio de sus componentes [111]. Siguiendo esta tendencia revisionista, la escuela filosófica de Port-Royal propone una actualización completa de la noción de análisis. Publicada su primera edición en 1662, *La lógica o el arte del pensamiento* se concibió como un compendio epistemológico sobre el pensamiento humano. De acuerdo con los autores de tan magna obra, se pueden establecer cuatro tipos fundamentales de pensamiento [6]:

- Inducir. Buscar causas a partir de los efectos observados. Algo no debe aceptarse como cierto sino existen evidencias de esa certeza; es decir, deben evitarse aquellas conclusiones que no se basen en el estudio de los motivos, razones o causas que lo justifiquen.
- Deducir. Buscar efectos desde las causas establecidas. El objetivo es establecer nuevas certezas a partir del examen de un principio, proposición o supuesto.
- Comprender. Determinar el todo a partir de las partes que lo forman. La actividad intelectual se corresponde con una labor sistemática: debe iniciarse por la comprensión de los aspectos o partes más sencillas para, poco a poco y de manera ascendente, conocer el todo más complejo.
- Juzgar. Establecer una consecuencia a partir de un todo y una parte dada. A partir de observaciones realizadas, y tomando como referencia un conocimiento ya establecido, se obtienen nuevas consecuencias o sentencias.

Desde el punto de vista de la labor desempeñada, los dos primeros tipos de pensamiento se corresponden, respectivamente, con el análisis y la síntesis regresiva, mientras que el tercero y el cuarto harían referencia al análisis y la síntesis resolutive [13]. No obstante, como los propios autores de *La lógica o el arte del pensamiento* ponen de manifiesto, esta nueva visión, más precisa y detallada, no es plenamente novedosa sino que está influenciada en gran medida por la obra de René Descartes.

René Descartes, nacido en Francia en 1596, fue un destacado filósofo y matemático. En el área de las matemáticas fue el precursor de dos conceptos trascendentes: simplificó la notación algebraica y definió la geometría analítica como medio para representar las figuras geométricas utilizando el lenguaje algebraico [66]. Es la segunda de estas nociones, la geometría analítica, la aportación más interesante desde el punto de vista de los objetivos de este trabajo. La interpretación de la geometría analítica elaborada por Descartes se fundamenta en la institución de un método de resolución de problemas que incluye tanto un cambio de representación como un método de regresión y descomposición [8]. El método de resolución de problemas de Descartes abarca:

- Una notación específica. Descartes define un «lenguaje formal-matemático» como medio para la representación de problemas geométricos. Concepción del análisis interpretativo.
- Un método de trabajo. Se define un método de trabajo basado tanto en la descomposición del problema como en el estudio de sus causas o motivaciones. Concepción del análisis regresivo y resolutive.

Es en esta dualidad dónde reside la significación del método cartesiano: el análisis cartesiano sintetiza las tres concepciones del análisis en un sólo modo de trabajo [12]. El resultado es la aparición de una nueva forma de entender el análisis, más compleja y efectiva, basada en un marco de análisis formada por la combinación de elementos independientes pero complementarios entre sí. La auténtica revolución iniciada con el análisis cartesiano tiene su continuación en la creación, por parte de Leibniz y Newton, del cálculo integral y diferencial, elementos esenciales del conocido como «análisis matemático».

## El mundo contemporáneo y la actualidad

La percepción del análisis a lo largo del siglo XIX está condicionada por Kant y su concepto de «descomposición de la noción». De acuerdo a la misma, la comprensión y lucidez de una noción descansa en la descomposición en sus verdades intrínsecas [105]. Frente a este principio, se establecen dos corrientes de pensamiento:

- Por un lado, se acepta el análisis como elemento de descomposición aunque asignándole un carácter negativo. El análisis facilita la descomposición de las nociones estudiadas pero, al mismo tiempo, lleva a una simplificación excesiva de la realidad. Esta es la línea seguida por el Idealismo Británico.
- Por otro, se confiere un carácter positivo al análisis, reconociendo su valor esencial para la apreciación de la realidad y adquisición de conocimiento. Forma parte de esta tendencia el Neokantismo.

Se trata, por tanto, de una simplificación del concepto de análisis, haciendo prevalecer el carácter resolutivo del mismo sobre cualquier otra interpretación. En contraposición, el siglo XX viene marcado por un resurgimiento de una visión más compleja que tiene por resultado la aparición de la denominada «filosofía analítica».

La filosofía analítica tiene como objeto dilucidar el verdadero carácter de la investigación filosófica, de sus métodos y resultados [105]. No obstante, tomando como punto de referencia el concepto de análisis, lo que caracteriza a la filosofía analítica es el reconocimiento explícito del carácter interpretativo del análisis [11]. Este carácter interpretativo permite concebir el análisis como una herramienta para la transformación de la realidad a fin de facilitar su comprensión. El origen de la filosofía analítica se encuentra en la obra de Frege y Russell. De manera simplificada, la labor desarrollada por Frege y Russell con respecto a la Filosofía se asemeja a la labor realizada por Descartes con respecto a la Geometría. En el caso de la filosofía analítica, la herramienta utilizada para interpretar la realidad es la «lógica de predicados» (frente al «lenguaje formal-matemático» utilizado por Descartes en su geometría analítica). La filosofía analítica, y su modo de pensamiento, ha tenido una relevancia significativa a lo largo del siglo XX, influyendo en autores como Wittgenstein, Moore o la Escuela de Análisis de Cambridge.

## 2.2. El desarrollo de la instrucción

La instrucción tiene por objeto la creación de las circunstancias que faciliten el aprendizaje. La existencia de una relación directa entre el escenario de aprendizaje –entendiendo por tal, el contexto educativo, el perfil del destinatario y los objetivos planteados– y la forma de enseñanza a aplicar [75, 128] hace necesaria la sistematización del proceso de desarrollo de la instrucción.

El Diseño de la Instrucción (ID, *Instructional Design*) es una disciplina, surgida al amparo de la Psicología y las Ciencias de la Educación, que mediante el estudio y la explicación del proceso de aprendizaje pretende facilitar y mejorar la instrucción. Tomando como referencia su forma de trabajo, el ID se define como:

*"Instructional Design comprises the plans, procedures, and theories for constructing the instruction, such as the explanations and assignments to promote learning and to reach described learning outcomes."*

S. Dijkstra et al. [50]

*"Instructional Design refers to the systematic process of translating principles of learning and instruction into plans for instructional materials and activities."*

M. Liu et al. [109]

Reigeluth [128] postula que la actividad del ID se fundamenta en las siguientes bases de conocimiento: la elaboración de teorías que expliquen la labor de instrucción y la definición de procesos que mejoren el desarrollo de la instrucción. No obstante, como el propio autor indica, existe una estrecha relación entre ambos conceptos. Así, por ejemplo, una misma teoría requiere modificaciones en el proceso instructivo utilizado a fin de aplicarla a una situación o entorno específico. A su vez, tanto las teorías como los procesos utilizan modelos como mecanismo para la representación del conocimiento. De las dos actividades referidas, el presente trabajo presenta puntos en común con la definición de procesos de desarrollo de la instrucción.

### 2.2.1. El proceso de desarrollo de la instrucción

Un proceso de desarrollo de la instrucción recoge una secuencia de tareas necesarias para la correcta elaboración de la instrucción. Como resultado de la aplicación de un proceso de desarrollo se obtiene un recurso instructivo: un material educativo, un curso, un plan de estudios, un programa de enseñanza, etc. De manera habitual, el proceso de desarrollo de la instrucción se representa mediante modelos denominados como «modelos de diseño de la instrucción» (ID models, *Instructional Design models*) o «modelos de desarrollo de sistemas para la instrucción» (ISD models, *Instructional Systems Development models*) Desde el punto de vista de la estructura, el proceso de desarrollo de la instrucción deben tomar en consideración cuatro componentes [117] esenciales:

- Alumnos. El proceso debe tener en cuenta las características, motivaciones y conocimientos previos de los alumnos/usuarios del recurso instructivo a desarrollar.
- Métodos. Conjunto de actividades y tareas instructivas soportadas por el recurso. El método establece la estrategia instructiva del proceso.
- Objetivos. Conocimientos o facultades que se pretenden transmitir o acrecentar mediante el recurso instructivo.
- Evaluación. Procedimiento de evaluación del proceso, a fin de determinar la calidad (entendiendo como tal, la capacidad de satisfacer los objetivos instructivos establecidos) del recurso desarrollado.

Tradicionalmente, el proceso de desarrollo de la instrucción se ha considerado como un proceso lineal que establece una secuencia de pasos, dónde el resultado de cada uno de las fases se toma como entrada de la fase siguiente [43]. En concreto, el proceso se suele dividir en cinco fases: análisis de la instrucción, diseño, producción, implementación y mantenimiento del curso [82]. Asociadas a cada una de estas etapas existen objetivos y tareas específicas; así, por ejemplo, la fase de diseño es responsable de identificar el método instructivo adecuado a unos objetivos educativos concretos.

### 2.2.2. El análisis de sistemas para la instrucción

El análisis de sistemas para la instrucción, también conocido como *Front-End Analysis*, se define como:

*"Instructional system analysis. The «front end» phase of the ISD process in which the job is analyzed, tasks are selected for training, task performance measures are constructed, existing courses are reviewed, and the instructional setting tentatively determined."*

*"Instructional setting. The location and physical characteristics of the area in which instruction takes place. The setting can be in a classroom, a laboratory, a field, or workplace location."*

D. Clark [28]

Por tanto, el análisis de sistemas para la instrucción es la fase inicial del proceso de desarrollo de la instrucción. Esta fase de análisis es la encargada de identificar el problema instructivo y especificar las condiciones del mismo.

### Principios del análisis de sistemas para la instrucción

El desarrollo de la instrucción debe prestar especial atención a la condiciones en las cuales se realiza el aprendizaje. Por este motivo, la fase de análisis debe centrarse en determinar las circunstancias en las cuales tendrá lugar la instrucción. El análisis de sistemas para la instrucción debe respetar los siguientes principios [63]:

- El área de conocimiento implicada en el proceso de aprendizaje debe ser claramente delimitado. Se establecen los contenidos del sistema.
- El contexto educativo debe ser determinado. Se incluyen en esta categoría la definición de objetivos educativos, la identificación de recursos y competencias, y la enumeración de medios de evaluación adecuados.

- Las características del alumno deben ser conocidas: su perfil intelectual, conocimientos de la materia y propósitos perseguidos al utilizar el sistema para la instrucción.
- Se identifican y especifican las condiciones externas al sistema. Características ajenas al proceso de aprendizaje que condicionan el despliegue o utilización del sistema: aspectos administrativos, restricciones curriculares, medios disponibles, etc.
- La clasificación y documentación de la información recopilada durante el proceso de análisis.

### **Caracterización del análisis de sistemas para la instrucción**

El análisis de sistemas para la instrucción, como cualquier otra forma de análisis, presenta en mayor o menor medida algunas de las interpretaciones del análisis recogidas en la sección 2.1.1. En base a la definición y principios expuestos, es posible establecer la siguiente caracterización:

- El análisis de sistemas para la instrucción prima la definición del problema sobre cualquier otra actividad. Desde este punto de vista, la labor realizada se corresponde con la visión resolutoria del análisis. El análisis se limita al estudio de los factores significativos desde el punto de vista del sistema a desarrollar, obviando cualquier otra información.
- Una vez recopilada la información sobre las necesidades y condiciones del sistema, el análisis procede a la clasificación y especificación de la información. Esta labor de documentación se corresponde con la visión interpretativa del análisis. No obstante, a pesar de esta labor de formalización, no es habitual la utilización de artefactos o lenguajes específicos de representación del conocimiento.

Por tanto, el análisis de sistemas para la instrucción carece de la visión regresiva del análisis. El cometido fundamental de esta forma de análisis es especificar de la manera más precisa posible los factores que intervienen en un problema instructivo, delegando en otras disciplinas, como el Diseño de la Instrucción o las Ciencias de la Educación, el estudio y explicación de sus causas o motivaciones.



### 2.2.3. Modelos de desarrollo de sistemas para la instrucción

Los trabajos existentes sobre el proceso de desarrollo de la instrucción no contemplan modelos o métodos específicos para el análisis de sistemas para la instrucción. Por este motivo, en este epígrafe se revisaran distintos modelos ISD, explicando sus peculiaridades desde el punto de vista de la fase de análisis.

#### I. Modelo ADDIE

El modelo ADDIE es un modelo genérico para el desarrollo de todo tipo de recursos instructivos. El modelo propone un proceso de desarrollo dividido en cinco etapas (ver figura 2.1) secuenciales. El nombre ADDIE se corresponde con la letra inicial de cada una de estas etapas: (1) *Analysis*; (2) *Design*; (3) *Development*; (4) *Implementation*; (5) *Evaluation*.

##### Origen

El modelo ADDIE fue diseñado 1975 por la Universidad de Florida. Seleccionado por las Fuerzas Armadas de los Estados Unidos como herramienta de desarrollo de la instrucción, ha sufrido distintas variaciones en el tiempo. Los cambios más relevantes fueron realizados por Russell Watson en 1981, dando lugar al modelo definitivo [137]. En la actualidad, existen más de cien variaciones distintas del modelo ADDIE.

##### Fase de análisis

El análisis es la fase inicial del proceso de desarrollo propuesto por el modelo ADDIE. Durante la fase de análisis el diseñador delimita y establece las condiciones del problema instructivo a resolver. En particular, el análisis está encaminado a determinar: (1) Los objetivos instructivos a alcanzar; (2) Los contenidos a impartir y materiales disponibles; y (3) Las capacidades y características de los alumnos implicados en el proceso de aprendizaje. La versión original del modelo proponía una actividad adicional eliminada posteriormente: el estudio de los sistemas para la instrucción existentes. A fin de alcanzar estos objetivos, el modelo ADDIE propone una serie de cuestiones directas que abarcan los distintos aspectos implicados en el proceso. El resultado final de la fase de análisis es la definición de las condiciones del problema, como respuestas a cada una de las cuestiones planteadas.

### Consideraciones de uso

El modelo ADDIE es un modelo de desarrollo genérico, de fácil aplicación, y con una estructura sencilla. Las limitaciones del modelo tienen que ver con su propia simplicidad, pudiéndose establecer las siguientes consideraciones de uso:

- El modelo ADDIE se ha convertido en una referencia del desarrollo de sistemas para la instrucción. Sus principios y modo de trabajo han sido tomados como ejemplos por numerosos modelos posteriores de desarrollo. En particular, el desarrollo dividido en cinco fases se ha tratado como un estándar de este tipo de modelos.
- El modelo de proceso propuesto por ADDIE se basa en tareas secuenciales. Esta es una de las principales críticas al modelo, su carácter excesivamente lineal, que dificulta la corrección de errores y reduce la mejora progresiva del producto.
- El modelo ADDIE únicamente actúa como guía o referencia del proceso. No establece tareas o actividades precisas por fase. Esta flexibilidad permite la utilización del modelo para la elaboración de distintos tipos de recursos instructivos, pero lastra la eficacia del proceso de desarrollo.
- El modelo ADDIE propone una fase de análisis poco precisa. Carece de herramientas específicas de análisis, limitándose a recopilar una serie de cuestiones generales sobre aspectos del proceso de instrucción.

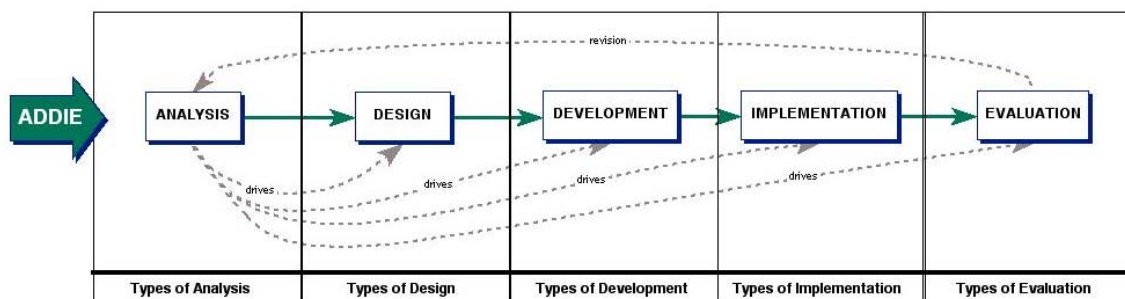


Figura 2.1: Modelo de diseño de la instrucción. Modelo ADDIE

## II. Modelo de Kemp

El modelo de Kemp [103] propone un proceso de desarrollo sistemático e iterativo. La representación en forma de óvalo del modelo (ver figura 2.2) pretende dar la sensación de que el proceso de desarrollo es un ciclo continuo que requiere una constante planificación, diseño, revisión, gestión y evaluación. El modelo de Kemp establece un total de nueve actividades de diseño y cuatro actividades de gestión o soporte. Las actividades de diseño propuestas no son obligatorias, siendo posible obviar alguna de las mismas si el sistema a desarrollar no las precisa.

### Origen

Los antecedentes del modelo de Kemp se encuentra en los trabajos iniciales de Jerrold E. Kemp [102], aunque la primera definición completa data del año 1994. Posteriormente, el propio autor ha participado en una evolución del modelo conocida como modelo de Morrison & Ross & Kemp (modelo MRK) [117]. El modelo MRK mantiene la filosofía del modelo de Kemp, respetando la estructura y forma de trabajo. La diferencia se encuentra en la mayor especificación de las labores y objetivos de cada tarea, y en la sustitución de la actividad de «despliegue de la instrucción» por la de «desarrollo de la instrucción». Dada su similitud, en ocasiones se utilizan indistintamente las denominaciones modelo de Kemp y modelo MRK.

### Fase de análisis

A pesar del carácter iterativo del modelo, y tal y como muestra la figura 2.3, es posible establecer una relación entre las actividades del modelo de Kemp y las etapas habituales del proceso de desarrollo de la instrucción (ver sección 2.2.1). En concreto, la fase de análisis se corresponde con las actividades de:

- *Instructional problems*. Se determina el problema instructivo a resolver. Se incluye en esta fase la identificación de los objetivos instructivos.
- *Learners characteristics*. Se examinan las características del alumno. El modelo considera el perfil del alumno un factor esencial para determinar el mejor proceso instructivo; por este motivo, se realiza un estudio exhaustivo de sus características: conocimientos previos, habilidades, edad, expectativas sobre el curso, etc.

- *Task analysis*. Se identifican y estudian las áreas, competencias o habilidades a fortalecer. Se determinan los conocimientos a transmitir y las tareas necesarias para adquirirlos. El análisis de tareas debe ser un trabajo sistemático y exhaustivo, determinando las relaciones entre las mismas, sus objetivos y necesidades.
- *Instructional objectives*. Se especifican los objetivos instructivos. La especificación de objetivos instructivos implica la priorización y secuenciación de los mismos, lo cual puede considerarse como parte de la definición de la solución. Por este motivo, la actividad suele considerarse como un puente entre las etapas de análisis y diseño.

La primera de estas actividades, la definición del problema instructivo, debe ser siempre el inicio del proceso. No obstante, dado el carácter iterativo del modelo, es posible realizar en todo momento cualquier actividad del análisis.

### Consideraciones de uso

El modelo de Kemp fue concebido como un modelo flexible, apto para el diseño de todo tipo de recursos instructivos, desde lecciones o módulos aislados, a cursos y planes de formación completos. Al seleccionar el modelo de Kemp debe considerarse:

- El carácter iterativo del proceso, y la no obligatoriedad de las actividades, confiere al modelo gran flexibilidad: es posible definir numeros procesos de desarrollo. Esta misma flexibilidad puede dificultar la aplicación del modelo, confiriendo a la experiencia un valor significativo.
- Actividades de gestión. El modelo de Kemp propone actividades de gestión, evaluación y soporte que permiten verificar y validar el proceso. Estas actividades garantizan la calidad del producto.
- El modelo de Kemp propone un exhaustivo análisis del problema. Tomando como base los objetivos instructivos, las características del alumno y el análisis de tareas, realiza una revisión completa de todos los factores que pueden condicionar la instrucción.

El modelo de Kemp se suele presentar como una alternativa al modelo de DC, mucho más austero y rígido, pero de más sencilla aplicación.

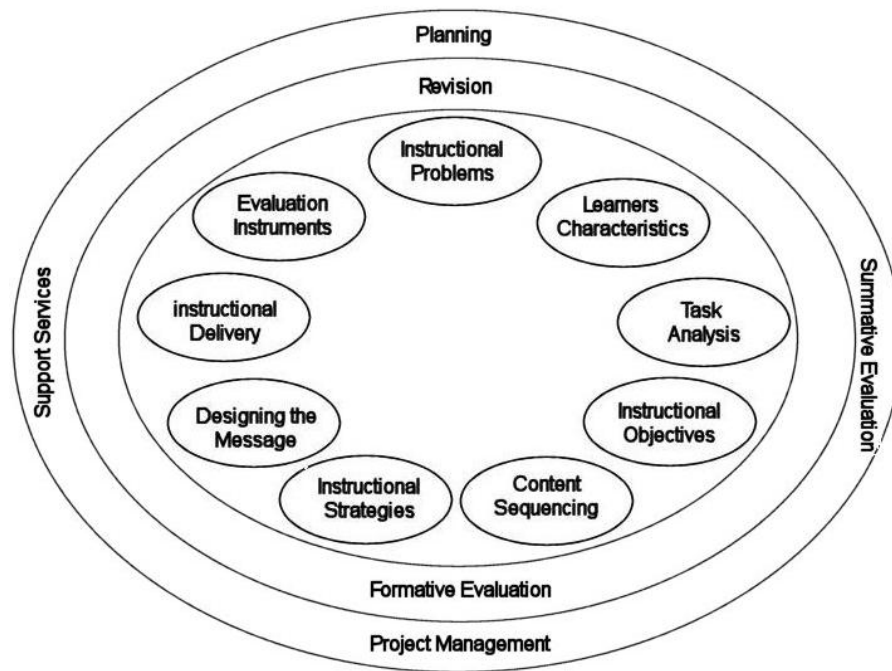


Figura 2.2: Modelo de diseño de la instrucción. Modelo de Kemp  
[103]

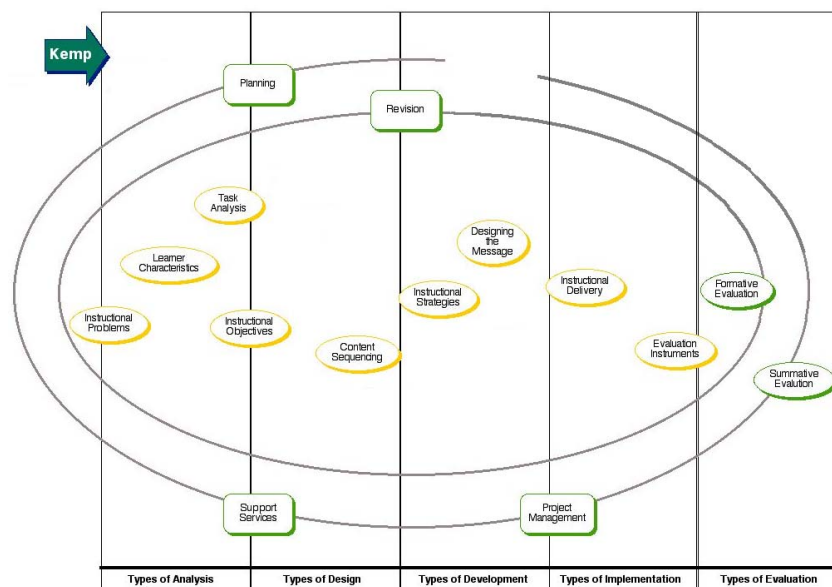


Figura 2.3: Modelo de Kemp. Actividades por etapas del proceso.

### III. Modelo de Dick & Carey

Los autores del modelo [44] establecen la existencia de una relación entre los estímulos recibidos y la respuesta producida en el estudiante. La función del diseñador es identificar las habilidades que el estudiante debe poseer, seleccionar los estímulos adecuados y determinar la estrategia instructiva más adecuada. Basado en este principio, el modelo de Dick & Carey (modelo DC) establece un proceso de desarrollo secuencial, dividido en diez actividades (ver figura 2.4)

#### Origen

El modelo DC se puede considerar como una evolución ampliada del modelo ADDIE. Concebido por Walter Dick y Lou Carey, la primera versión del modelo se publicó en 1978. El modelo ha sido profusamente utilizado desde su aparición, habiendo tenido distintas adaptaciones a lo largo de este tiempo.

#### Fase de análisis

La fase de análisis del modelo DC se basa en la división del problema en factores más sencillos o concretos. La primera versión del modelo se centraba en tres elementos de la instrucción: el estudiante, el instructor y los contenidos. Posteriormente, en los años noventa, e influenciado por los principios del constructivismo, se añadió un nuevo factor: el entorno en el cual se desarrolla el aprendizaje. La fase de análisis del modelo DC establece las siguientes actividades:

- *Identify instructional goals.* Se determinan las competencias y conocimientos que deben alcanzar los alumnos.
- *Conduct instructional analysis.* Estudia uno a uno los objetivos instructivos, determinando las habilidades y comportamientos necesarios para alcanzar cada uno de ellos.
- *Identify entry behaviors.* Estudia las características de los estudiantes y del contexto en el cual tendrá lugar la instrucción. Determina el contexto más adecuado para alcanzar ciertas habilidades.
- *Write performance objectives.* Especifica los comportamientos y habilidades más adecuadas para alcanzar determinados objetivos.

### Consideraciones de uso

El modelo DC es un modelo de desarrollo concebido para el diseño de recursos instructivos de pequeña escala (unidades, módulos o lecciones). Existen numerosos ejemplos de aplicación del modelo, lo que demuestra su utilidad y valor. Desde el punto de vista de su utilización puede enumerarse:

- El modelo de proceso propuesto por Dick & Carey se basa en tareas perfectamente especificadas y delimitadas. Esta supuesta rigidez del modelo ha sido uno de los principales factores de crítica del mismo.
- En ciertas situaciones, la forma de trabajo del modelo puede resultar excesivamente engorrosa, especialmente la definición de relaciones entre habilidades y objetivos instructivos. Por este motivo, el modelo se considera poco recomendable para el diseño de recursos instructivos de gran tamaño, como programas o planes de estudio.
- Desde el punto de vista del análisis, el modelo delimita claramente la información a conocer y la forma de alcanzarla. El análisis de estudiantes y contextos presenta un ligero carácter regresivo, algo poco habitual en los modelos de diseño de la instrucción.

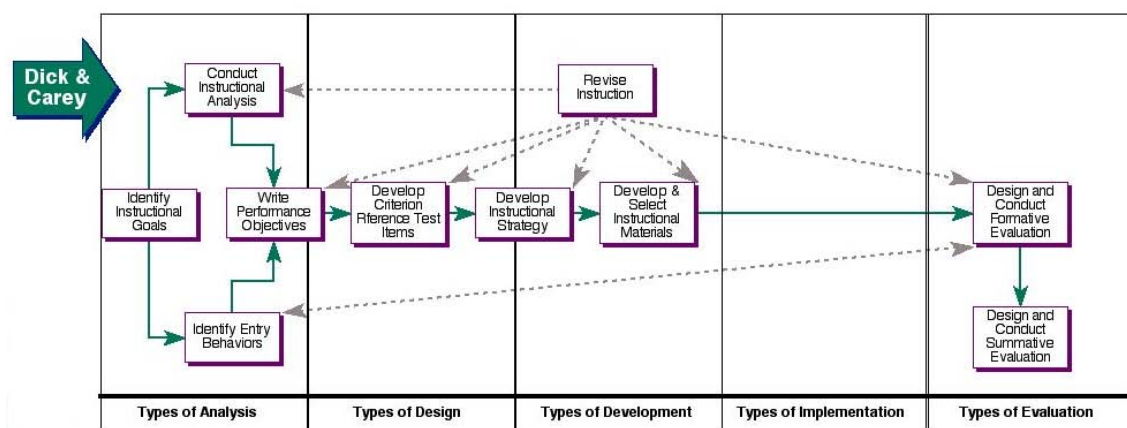


Figura 2.4: Modelo de diseño de la instrucción. Modelo de Dick & Carey

#### IV. Modelo ASSURE

El modelo ASSURE [85] es un modelo de diseño de la instrucción concebido para el desarrollo de cursos. El modelo se basa en la teoría de Gagne sobre los eventos de la instrucción [62]. Gagne considera que existen nueve eventos que activan el proceso de aprendizaje, motivo por el cual todo recurso instructivo debe contemplar estos nueve eventos. El nombre ASSURE se corresponde con el acrónimo de las seis actividades (ver figura 2.5) que conforman el proceso de desarrollo: (1) ***A**nalyze learners*; (2) ***S**tate objectives*; (3) ***S**elect methods, media and materials*; (4) ***U**tilize media and materials*; (5) ***R**equiere Learner Participation*; (6) ***E**valuate and Revise*.

##### Origen

La primera versión del método surgió en 1996 como resultado de los trabajos de Robert Heinich, Michael Molenda, James D. Russell y Sharon E. Smaldino. El modelo no ha sufrido variaciones significativas desde su aparición.

##### Fase de análisis

De acuerdo con los eventos propuestos por Gagne, el aprendizaje viene condicionado por el perfil del alumno y los objetivos instructivos. El modelo ASSURE propone una etapa de análisis basada en el estudio de estos factores:

- Alumnos. Se determina el tipo de alumnos que realizarán la formación. Las características del alumno se pueden agrupar en tres bloques:
  - *Características generales*. Características que influyen en la formación pero no tienen una relación directa con el curso. Se incluyen en este grupo: la edad, sexo, grupo étnico, nivel socioeconómico, etc.
  - *Competencias adquiridas*. Determina el grado formativo anterior a la realización del curso. Se determinan las habilidades, aptitudes y competencias previas de los alumnos.
  - *Estilo de aprendizaje*. Hace referencia a la forma de adquirir conocimiento de los alumnos. El estilo de aprendizaje puede ser verbal, lógico, visual, estructurado, etc.



- **Objetivos instructivos.** Se determina la lista de objetivos o resultados que deben alcanzarse mediante la instrucción. Por cada objetivo se identifica:
  - *Audiencia.* Grupo de alumnos que deben alcanzar el objetivo.
  - *Comportamiento.* Que conocimiento o competencia debe adquirirse gracias al proceso instructivo.
  - *Condiciones.* Bajo que circunstancias se observa y evalúa el comportamiento.
  - *Rango.* Que porcentaje de la audiencia debe mostrar el comportamiento para considerar el objetivo como alcanzado.

Un ejemplo de objetivo instructivo sería: *"Los alumnos de Ciencias Sociales, Geografía e Historia de tercero de ESO (Audiencia) deben conocer al menos el 90 por ciento (Rango) de las capitales de estados europeos (Comportamiento) cuando se les de una lista de países (Condiciones)"*

### Consideraciones de uso

El modelo ASSURE resulta especialmente útil para el diseño de cursos de formación utilizando recursos disponibles. En particular, incorpora una actividad específica para la búsqueda, selección y modificación de materiales. Esta característica del modelo permite su adaptación para la automatización del diseño de la instrucción. Respecto al análisis, el modelo ASSURE incorpora como novedad la mayor formalización del conocimiento. En particular, la definición de objetivos instructivos sigue una serie de pautas que puede facilitar la posterior automatización del diseño.

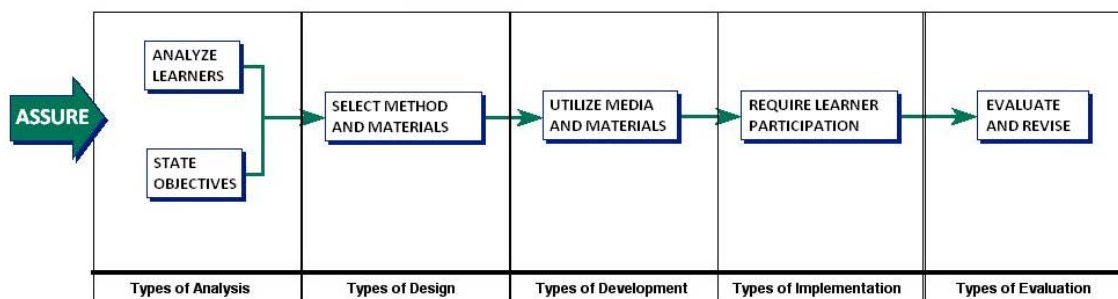


Figura 2.5: Modelo de diseño de la instrucción. Modelo ASSURE

## 2.3. El desarrollo de software

La Ingeniería del Software (SE, *Software Engineering*) es la disciplina encargada de mejorar la producción de sistemas de información mediante la aplicación de principios de las ciencias de la computación. De manera formal, la SE se define como:

1. *The application of a systematic, disciplined, quantifiable approach to the development, operation, and maintenance of software; that is, the application of engineering to software.*
2. *The study of approaches as in (1)”*

IEEE - Glossary of Software Engineering Terminology [33]

La SE, siguiendo la práctica habitual de la disciplinas tradicionales de ingeniería, está relacionado con el coste y la confiabilidad: el objetivo es aumentar la eficiencia del proceso, mejorando la calidad del producto y reduciendo el coste de producción. Para la consecución de este objetivo, la SE engloba diversas tecnologías y actividades, entre las cuales tiene especial interés el proceso de desarrollo de software.

### 2.3.1. El proceso de desarrollo de software

El proceso de desarrollo de software es una actividad propia de la Ingeniería del Software que se define como:

*”The period of time that begins with the decision to develop a software product and ends when the software is delivered. This process typically includes a requirements phase, analysis phase, design phase, implementation phase and test phase.”*

IEEE - Glossary of Software Engineering Terminology [33]

De entre las etapas enumeradas, la fase análisis es una actividad esencial del proceso de desarrollo y, tal y como consideran algunos autores [65, 123], uno de los elementos fundamentales que determinan la validez del producto desarrollado.

### 2.3.2. El análisis de sistemas informáticos

El análisis de sistemas informáticos es una de las etapas iniciales del proceso de desarrollo de software. El análisis de sistemas informáticos se define como:

*"The period of time in the software development cycle during which the user needs are described and evaluated ... the requirements for a software product are defined and documented."*

IEEE - Glossary of Software Engineering Terminology [33]

La definición recoge el aspecto esencial del análisis de sistemas informáticos: se trata de una actividad encaminada a especificar las características del sistema software a desarrollar. En el mismo sentido, y de manera más evidente, Demarco propone una definición que incide en la labor de especificación:

*"Analysis is the study of a problem, prior to taking some action. In the specific domain of computer systems development, analysis refers to the study of some business area or application, usually leading to the specification of a new system."*

T. Demarco [41]

### Principios del análisis de sistemas informáticos

Independientemente del método de trabajo utilizado, el análisis de sistemas informáticos presenta una serie de principios que distinguen la labor realizada. En concreto, Pressman [124] estableció los siguientes principios:

- La información del dominio en el cual tiene lugar el problema debe ser comprendido y representado.
- La funcionalidad resuelta (o a resolver) por el sistema debe ser convenientemente documentada.
- El comportamiento del sistema (como consecuencia de eventos externos) debe ser identificado y definido.
- La información, tanto del dominio como del propio sistema, debe ser dividida y representada de manera que se eviten detalles innecesarios.

### Caracterización del análisis de sistemas informáticos

Una vez presentado el concepto de análisis de sistemas informáticos, y expuesta su relevancia en el proceso de desarrollo de software, el presente epígrafe ahonda en la forma de trabajo de esta actividad. De acuerdo con las definiciones recopiladas en la sección 2.1.1, el análisis de sistemas informáticos presenta la triple caracterización regresiva, resolutive e interpretativa propia del concepto de análisis:

- En primer lugar, y teniendo en cuenta que el análisis de sistemas informáticos permite especificar los requisitos del producto a desarrollar, la labor de análisis en el desarrollo de software se corresponde con una visión resolutive. El análisis de sistemas, mediante la actividad de *forward engineering* [67], permite obtener una visión anticipada del producto: el resultado del análisis es una representación, con un alto nivel de abstracción, de los distintos factores que conforman el sistema de información que se pretende desarrollar [98].
- El carácter interpretativo está ligado al concepto de «modelo de software». Un modelo es una simplificación de la realidad, una abstracción que elimina los detalles superfluos. Un modelo de software es, por tanto, una representación de un producto software. Tomando como base esta noción, y dado que el análisis proporciona una visión simplificada del sistema de información a desarrollar, la fase de análisis pretende elaborar un modelo de software. En este caso la actividad se corresponde con la visión interpretativa del análisis.
- En último lugar, la visión regresiva se asocia con el objetivo de conocer el contexto en el cual se emplea (empleará) el sistema de información, a fin de conocer las causas del problema que motiva el desarrollo de un sistema software. El análisis de sistemas, en una actividad denominada *reverse engineering* [67], pretende elaborar un modelo conceptual, conocido como «modelo de negocio», que sirva como representación del «mundo real» externo al sistema de información que se desea desarrollar [31, 107, 135].

Por tanto, se puede considerar que el análisis de sistemas informáticos alcanza sus mejores resultados cuando aborda tanto la definición del problema, como la comprensión del contexto que determina su desarrollo.

### 2.3.3. Técnicas de análisis de sistemas informáticos

La relevancia y complejidad del análisis de sistemas informáticos ha llevado a la aparición de una serie de técnicas de análisis que proponen distintos mecanismos para acometer la especificación de un sistema. La presente sección recopila algunas de las técnicas más significativas para el análisis de sistemas informáticos.

#### I. Análisis Estructurado

El Análisis Estructurado (*Structured Analysis*) es una técnica para el análisis de sistemas informáticos basado en la descomposición funcional y la creación de un modelo de datos del sistema informático a desarrollar [155].

##### Características

El Análisis Estructurado surgió a finales de los años setenta del pasado siglo como respuesta a algunos de los problemas habituales en el análisis de sistemas informáticos. De manera general, y de acuerdo con sus propios valedores [41], el Análisis Estructurado se caracteriza por ser:

- Gráfico. El análisis se basa en la creación de una serie de diagramas que recogen las características del sistema desde diversos puntos de vista.
- Divisible. El sistema se descompone en unidades funcionales de más sencilla comprensión o tratamiento. Esta división puede realizarse siguiendo la técnica de *top-down*, descendiendo desde un alto nivel de abstracción hasta una definición detallada.
- Abstracto. El Análisis Estructurado realiza una definición del sistema desde un punto de vista lógico, no físico. Los diagramas definidos se centran en los procesos del sistema, no en las herramientas o medios utilizados en su ejecución.
- Iterativo. La especificación del sistema puede variar a lo largo del proceso motivado por la información disponible. En todo momento es posible retomar la fase de análisis a fin de especificar nuevos requisitos.

## Modelo

La numerosa literatura existente [41, 65, 121, 155] sobre el Análisis Estructurado no propone un modelo de análisis único; no obstante, si es posible establecer pautas generales. A continuación, tomando como base los postulados de Yourdon [155], se exponen los modelos principales definidos por el Análisis Estructurado:

- **Modelo esencial.** El modelo esencial del sistema identifica la funcionalidad del sistema, diciendo lo mínimo posible acerca de cómo se resolverá. El modelo esencial consiste en dos componentes fundamentales:
  - *Modelo ambiental.* Define los límites precisos del sistema. El modelo recoge la información intercambiada entre ambos contextos, el medio de intercambio, o los eventos del ambiente que deben ser gestionados por el sistema.
  - *Modelo de comportamiento.* Describe el comportamiento interno del sistema. La elaboración del modelo se suele tomar como punto de partida los elementos de interacción con el ambiente, a partir de la lista de eventos gestionados se identifican y describen los procesos del sistema.
- **Modelo de implantación.** El modelo de implantación recoge aquellos requisitos relacionados con la forma de implantación del sistema, con la forma de utilización del mismo. El modelo de implantación comprende los siguientes aspectos:
  - *Frontera de automatización.* Identifica que funciones y datos del sistema se manejarán de manera manual y cuales se procesarán automáticamente.
  - *Interacción hombre-máquina.* Deben elegirse los dispositivos de entrada y salida, la estructura de los formularios, y el formato de las entradas y salidas.
  - *Condiciones operativas.* Se incluyen en este grupo la información referida al volumen de datos a tratar, los tiempos mínimos y máximos de respuesta, y las restricciones de seguridad.

## Artefactos

El aspecto más interesante del Análisis Estructurado tiene que ver la utilización de una serie de artefactos software de modelado específicos [41]:

- Diagrama de flujo de datos. Un diagrama de flujo de datos (DFD, *Data Flow Diagrams*) representa las transformaciones que ocurren en el dominio del problema. Un DFD se compone de cuatro elementos básicos:
  - *Procesos*. Operativas que se desarrollan en el mundo real.
  - *Flujos de datos*. Representan las entradas y salidas de datos en los distintos procesos del sistema.
  - *Entidades externas*. Elementos consumidores de datos.
  - *Almacenes de datos*. Elementos de persistencia encargados de mantener la información procesada por el sistema.
- Diccionario de datos. El diccionario de datos (DD, *Data Dictionary*) es un artefacto basado en gramáticas regulares. Su finalidad es describir formalmente la estructura de los datos de entrada o salida a un proceso. Dicho proceso deberá estar recogido en un DFD y, por lo tanto, representar una transformación en el dominio del problema.
- Árbol de decisión. Los árboles de decisión describen las acciones que se deben realizar cuando se dan una serie de condiciones en el dominio del problema. Desde el punto de la vista de la notación, los árboles de decisión emplean dos tipos de símbolos: para expresar la evaluación de condiciones y la realización de acciones.

Revisiones posteriores del Análisis Estructurado [155] han incluido otros tipos de diagramas que permiten representar de manera más precisa elementos del problema; entre los mismos, resulta especialmente interesante el modelo entidad-relación. Propuesto por P. Chen [26], el modelo entidad-relación (ER, *Entity-Relationship*) describe los tipos de entidad que existen en el dominio del problema, así como las relaciones entre los mismos. Adicionalmente, proporciona restricciones de integridad (cardinalidad y dependencia) que aseguran la consistencia de la información representada. Un aspecto interesante del modelo ER es la existencia de guías procedimentales [27] para la elaboración del modelo a partir de la descripción del problema.

## Metodología

Los principios y mecanismos del Análisis Estructurado han tenido reflejo en diversos métodos de desarrollo. Algunos de los más significativos son:

- MERISE. Metodo de análisis y diseño de sistemas de información basado en los principios del desarrollado estructurado [115]. Impulsada por el Ministerio de Interior francés, se concibió para cubrir las necesidades tanto de la administración pública como de las empresas. Desde el punto de vista del análisis, el método establece dos fases: el estudio preliminar del problema y el estudio detallado del mismo.
- SSADM. El método *Structures Systems Analysis and Design Method* (SSADM) fue auspiciada por el gobierno británico para el desarrollo eficiente de sistemas de información [69]. El método proporciona un conjunto de procedimientos para llevar a cabo el análisis y diseño, pero no cubre aspectos como la planificación del proyecto.
- METRICA. METRICA v2.0 [92] es un método de desarrollo propuesto por el Ministerio de Administraciones Públicas del Gobierno de España para unificar el modo de desarrollo en la Administración General del Estado. Desde el punto de vista del análisis, la metodología establece las siguientes fases: determinar el ámbito y alcance del proyecto, identificar los requisitos esenciales, diseñar el modelo lógico y estudiar alternativas.

## Consideraciones de uso

El Análisis Estructurado ha demostrado su utilidad en el desarrollo de numeros sistemas de información; sin embargo, en los últimos tiempos ha decaído su influencia motivado, principalmente, por las siguientes limitaciones:

- Reutilización complicada. Dada la primacía concedida a los flujos de proceso, es complicado reutilizar o modificar la funcionalidad del sistema.
- Dificultad para modelizar la interacción con el sistema. El análisis estructurado fue concebido para el desarrollo de sistemas de información con interfaz sencilla y escasa interacción con el usuario [31].



## II. Análisis Orientado a Objetos

El Análisis Orientado a Objetos (OOA, *Object-Oriented Analysis*) es una técnica de análisis que examina los requisitos desde la perspectiva de las clases y objetos que se encuentran en el vocabulario del dominio del problema [18].

### Características

El OOA surgió al amparo del paradigma orientado a objetos como medio para el estudio del problema a resolver. La utilidad del OOA se puede compendiar en la siguiente máxima:

*"The model built during object-oriented analysis provide a more natural way to think about systems."*

J. Martin [113]

La rotundidad de esta afirmación se basa en una serie de motivaciones y beneficios que, según distintos autores [10, 31], caracterizan el OOA :

- Mejora el análisis del dominio del problema. OOA establece una relación directa entre el mundo real y los componentes, clases, del sistema. La existencia de esta relación directa reduce la complejidad y facilita la comunicación con los expertos del dominio.
- Aumenta la consistencia del análisis. OOA reduce las diferencias entre las actividades del análisis. Los distintos modelos generados tienen puntos en común que facilitan su relación y puesta en común.
- Facilita la reutilización. El propio paradigma orientado a objetos, centrado en la representación de la realidad en base a clases y objetos, facilita la reutilización de los artefactos de análisis creados.
- Mejora la productividad. Aunque se trata de una característica condicionada por el lenguaje de programación utilizado [10], OOA establece las bases para una mejora del rendimiento en el desarrollo.

## Modelo

Las primeras aproximaciones sobre OOA [113, 114] proponen un modelo de análisis formado por:

- Modelo estructural. El modelo estructural describe la organización de los tipos de entidades recogidos en el diccionario del dominio del problema. La estructura del sistema se representa en base a las *clases* que intervienen en el negocio, las *propiedades* de dichas clases, las *operaciones* soportadas por cada clase de negocio y las *relaciones* entre clases.
- Modelo de comportamiento. El modelo de comportamiento refleja la forma en la cual las diferentes clases del problema interactúan entre sí. El modelo de comportamiento representa los detalles implícitos en la lógica de negocio, proporcionando una vista dinámica del sistema a desarrollar.

Posteriormente, tomando como base el trabajo de James Rumbaugh [135], e impulsado por la adopción del Lenguaje Unificado de Modelado (UML, *Unified Modelling Language*) [19, 59] como la notación estándar del desarrollo orientado a objetos, se ha generalizado la inclusión de un tercer elemento en el modelo de análisis de OOA: el modelo funcional. El modelo funcional describe el proceso de negocio y la manera de interactuar con el sistema. Un modelo funcional proporciona una vista externa del sistema a desarrollar.

## Artefactos

Como en el caso del análisis estructurado, el OOA propone una serie de artefactos que facilitan el estudio del problema y la elaboración del modelo de análisis. Entre el catálogo de artefactos disponibles resultan especialmente interesantes:

- Diagrama de clases. El diagrama de clases es un modelo estático que representa las clases y las relaciones entre las mismas. En la fase de análisis se entiende por clase cada una de las entidades de negocio presentes en el dominio del problema. Una clase representa tanto las propiedades de la entidad como las operaciones asociadas.

- Diagrama de secuencia. El diagrama de secuencia representa la interacción que tienen lugar entre distintos objetos de las clase de negocio. Un diagrama de secuencia es un modelo dinámico que muestra la secuencia explícita de mensajes intercambiados entre objetos y actores del sistema de información.
- Diagrama de actividad. Un diagrama de actividad representa las acciones que tienen lugar en un proceso de negocio. Los diagramas de actividad se componen de cuatro elementos básicos:
  - *Acción*. Unidad mínima de comportamiento que forma parte de un proceso de negocio.
  - *Actividad*. Conjunto de acciones que representan un comportamiento de la aplicación.
  - *Flujo de control*. Representación de la ruta de ejecución de un proceso de negocio. Sirve como nexo de unión entre distintas acciones y actividades.
  - *Nodo de control*. Elementos de decisión que permiten modificar el flujo de control principal.

Se entiende por "caso de uso" una secuencia de interacciones entre un sistema y alguien o algo que interactúa con el mismo [93]. La definición de los casos de uso del sistema implica la elaboración de dos artefactos específicos:

- Descripción de casos de uso. La descripción de un caso de uso contiene toda la información necesaria para definir una interacción con el sistema [32]. La descripción del caso de uso incluye una breve definición del mismo, las relaciones existentes entre el caso de uso y otros elementos del sistema, así como el flujo de eventos normal y alternativos. La descripción del caso de uso no debe entrar en aspectos o matices técnicos.
- Diagrama de casos de uso. El diagrama de caso de uso recopila todos los casos de uso que definen una determinada funcionalidad del sistema. Un diagrama de caso de uso ilustra la funcionalidad en base a los casos de uso, las relaciones existentes entre los casos de uso, y los diferentes tipos de usuarios que interaccionan con los mismos.

## Metodología

La metodología de desarrollo orientado a objetos se suelen clasificar en métodos de primera y segunda generación. Las primeras se caracterizan por resolver aspectos específicos o aislados del desarrollo. Entre la metodología de primera generación, deben considerarse:

- Método Booch. Propuesto por Grady Booch, el método Booch [18] presta especial atención al estudio de los requisitos del sistema y la elaboración del diagrama de clases de negocio.
- OMT. La metodología OMT (*Object Modeling Technique*) [135] fue creada por James Rumbaugh a principios de los años noventa. OMT introduce el concepto de modelo funcional y varios diagramas específicos.
- OOSE. El método OOSE (*Object-Oriented Software Engineering*) [93] fue desarrollado por Ivar Jacobson en 1992. Se trata de la primera metodología orientada a objetos que utiliza el concepto de casos de uso como herramienta fundamental de análisis.

Las metodología de segunda generación se caracterizan por la puesta en común de algunas de los mecanismos establecidos en la metodología de primera generación y, sobre todo, por la prevalencia de la notación UML. En este grupo se enmarcarían los trabajo de Alan Dennis [42] y Graig Larman [107].

## Consideraciones de uso

A pesar del rotundo éxito, y notable utilización, del paradigma orientado a objetos, OOA presenta una serie de limitaciones que deben tenerse en consideración:

- Identificación de clases de negocio. A pesar de que los defensores de la orientación a objeto consideran que es un modo natural de representar la realidad, la experiencia ha demostrado la dificultad de modelizar los sistemas en base, únicamente, a clases y objetos.
- Curva de aprendizaje. La dificultad de representar la realidad mediante clases y objetos se ha traducido en curvas de aprendizaje elevadas y necesidades de formación constantes.

### III. Análisis de Dominios

La ingeniería de dominios (*Domain Engineering*) es una actividad que permite la creación de familias de sistemas mediante el estudio de sus elementos comunes. La ingeniería de dominios cubre las etapas de análisis, diseño e implementación. Se define el Análisis de Dominios (DA, *Domain Analysis*) como:

*"Domain Analysis is the process of identifying and organizing knowledge about some class of problems –the problem domain– to support the description and solution of those problems."*

G. Arango et al. [5]

#### Características

El concepto de «análisis del dominio» fue propuesto por Neighbors [118] a principio de los años ochenta del siglo pasado en el contexto de la reutilización de software. De acuerdo con Neighbors, la clave para la reutilización de software no se encuentra en la forma de programar el código, sino en la correcta especificación del dominio de aplicación. El análisis del dominio permite determinar que factores del sistema a desarrollar son comunes a otros sistemas de información del mismo dominio. Entre los objetivos del análisis del dominio se encuentran:

- Reunir y poner en relación toda la información referida a un elemento del dominio. El proceso facilita la futura evaluación de la información a fin de permitir su reutilización.
- Establecer modelos y patrones comunes entre un conjunto de sistemas. El estudio comparativo de sistemas permite deducir conocimiento intrínseco al dominio.
- Representar el conocimiento mediante lenguajes y herramientas específicas que faciliten su posterior reutilización. Un mismo lenguaje puede no ser igual de efectivo para representar el conocimiento de dos dominios distintos; por este motivo, es preciso adaptar los artefactos utilizados al dominio analizado.

## Modelo

El objetivo final del DA es la definición de un modelo de dominio que represente las propiedades de los sistemas y las relaciones entre las mismas en un dominio determinado [35]. Sin embargo, no existe una definición estándar sobre el modelo de análisis utilizado por DA para la obtención del modelo dominio. De manera general, se puede establecer una serie de actividades recogidas en distintos métodos:

- Definición del dominio. Por dominio se entiende un área de conocimiento con una terminología y conceptos propios que deben ser considerados al especificar un sistema [35]. La definición del dominio establece el alcance (límite y vocabulario) del dominio analizado.
- Modelado de dominio. Se identifican y establecen relaciones entre los datos, funcionalidades y conceptos del dominio. Evalúa y selecciona los elementos susceptibles de reutilización. Un modelo de dominio determina que combinaciones de elementos del dominio son viables y cuales no.

## Artefactos

Una de las aportaciones más interesante de la ingeniería de dominios lo constituye el *modelado de características* [35]. En general, la literatura sobre ingeniería de dominios proporciona dos definiciones de «característica» (del ingles, *feature*):

1. *A feature is an end-user visible characteristic of a system.* [99]
2. *A feature is a distinguishable characteristic of a concept (e.g. system, component, etc.) that is relevant to some stakeholder of the concept.* [141]

El segundo de los enunciados recopilados ha tenido una mayor aceptación por tratarse de una definición más genérica, más próxima a los criterios de reutilización y generación de familias de sistemas [35]. Las características de los sistemas de un dominio se representan mediante un diagrama de características. Un diagrama de características representa, en forma de árbol, las características del dominio y las relaciones entre las mismas. El diagrama de características consta de un conjunto de nodos (que representan las características), un conjunto de aristas que relacionan los nodos, y un conjunto de símbolos que caracterizan las aristas y les confieren distintas propiedades.

## Metodología

- FODA. El método FODA (*Feature-Oriented Domain Analysis*) se basa en la identificación de las características de las entidades del dominio. El método FODA establece un proceso de análisis dividido en dos fases [99]: (1) Análisis de contexto. La actividad establece los límites del dominio considerado; y (2) Modelado del dominio. Se desarrolla un modelo de características del dominio de interés.
- FORM. El método FORM (*Feature-Oriented Reused Method*) es una extensión de FODA. El método prescribe como el modelo de características puede ser utilizado para establecer la arquitectura del dominio y crear componentes reutilizables. Un aspecto muy interesante del método FORM es la definición de una tipología de características de acuerdo a su función en el sistema desarrollado [100]: referidas a la funcionalidad, al entorno de ejecución, al dominio de aplicación y sobre las técnicas de implementación.
- ODM. El método ODM (*Organization Domain Modeling*) es un método de ingeniería de dominio desarrollado por Mark Simos [141]. El método establece un proceso de desarrollo, pero no proporciona notaciones o herramientas específicas, siendo responsabilidad del analista elegir aquellos artefactos que mejor se adapten a sus necesidades. Desde el punto de vista del análisis, ODM establece dos etapas que se corresponden con las fases definidas por FODA: definición y modelado del dominio.

## Consideraciones de uso

Respecto a la utilización del DA como herramienta de análisis, deben tenerse en consideración los siguientes puntos:

- DA es una herramienta muy recomendable para el desarrollo de sistemas en dominios estables, en los cuales la información del contexto puede ser fácilmente deducible a partir de expertos del dominio.
- No existe una metodología apropiada para todos los dominios u organizaciones [35]. Es importante elegir aquella forma de trabajo que mejor se adapte a las necesidades del contexto.

## 2.4. El desarrollo de software para la instrucción

La utilización de las nuevas tecnologías en la instrucción abarca una amplia variedad de dispositivos, técnicas y prácticas: desde el empleo de soportes digitales, a la utilización de Internet como medio para el despliegue de contenidos (tele-educación), pasando por la aplicación de medios audiovisuales o entornos virtuales. De entre todas ellas, la enseñanza asistida por ordenador debe ser un elemento clave para la progresiva mejora del proceso de aprendizaje [146]. A continuación, se revisará el concepto de enseñanza asistida por ordenador, prestando especial atención al proceso de desarrollo de software para la instrucción.

### 2.4.1. El software para la instrucción

La «automatización del diseño de la instrucción» tiene por objeto el empleo de los principios, técnicas y métodos de trabajo de la ciencia de la computación en el diseño, desarrollo y despliegue de recursos instructivos. Las causas que incitan al auge de esta actividad se pueden resumir en [144]:

- La necesidad de mejorar la eficiencia del desarrollo de la instrucción. La demanda creciente de formación, tanto en número como en variedad de recursos instructivos, obliga a optimizar el proceso de desarrollo a fin de reducir el tiempo empleado en su elaboración.
- El deseo de estandarizar la generación de recursos instructivos. El aumento de la demanda aconseja la estandarización del proceso de desarrollo a fin de garantizar, en un alto porcentaje, la eficacia y utilidad de los productos elaborados.

La automatización del diseño de la instrucción se puede abordar desde distintos puntos de vista: la aplicación de la inteligencia artificial al proceso de diseño, la creación de guías de diseño online o el desarrollo de la instrucción asistida por ordenador. En este último caso, el desarrollo de la instrucción se inscribe en el ámbito del desarrollo de software para la instrucción.



## La definición de software para la instrucción

El software para la instrucción, también conocido como producto *courseware*, se define como:

*"...any form of computer-based learning material or computer-aided learning system."*

P. Goodyear [70]

Por tanto, se considera como software para la instrucción cualquier recurso o sistema de aprendizaje asistido por ordenador, incluyendo desde productos multimedia a cursos interactivos. A fin de refinar esta definición, los productos *courseware* se clasifican en tres tipos [71]:

- Tipo I. Productos software concebidos para la enseñanza. Se trata de programas software a medida desarrollados para facilitar la labor de enseñanza.
- Tipo II. Productos producidos por un profesor, sin un fin comercial, para la utilización en sus propios cursos. Se trata de materiales o sistemas obtenidos mediante la configuración de productos de tipo I, o la adaptación de otras herramientas de tipo II. Ejemplos de productos de este tipo serían cursos gestionados por plataformas software para el aprendizaje (*Learning Management Systems*, LMS).
- Tipo III. Recursos elaborados por los alumnos u obtenidos de la propia actividad de instrucción. Forman parte de este grupo las presentaciones virtuales, en la cuales los propios alumnos pueden realizar anotaciones o comentarios que enriquecen la propia presentación.

El software para la instrucción de tipo I y II también se denomina como «sistemas de aprendizaje asistido por ordenador». El desarrollo de este tipo de sistemas requiere habitualmente de equipos multidisciplinares, motivo por el cual la comunicación entre los participantes del proceso de desarrollo adquiere una especial significación.

## La sistematización del desarrollo de software para la instrucción

La dificultad propia de la producción de software para la instrucción ha motivado la aparición de disciplinas de trabajo que, aplicando principios de ingeniería, pretenden mejorar la eficiencia del proceso y la calidad del producto elaborado. Al tratarse de propuestas relativamente recientes no existe unanimidad en el nombre adecuado para referirse a las mismas. Así, se han empleado términos como: *Design of Instructional Software* [101], *Courseware Engineering* [70] o *Instructional Engineering* [122]. A pesar de la variedad terminológica, el análisis de las definiciones propuestas por sus autores muestra la existencia de una realidad común:

*"The main functions of Design of Instructional Software are associated with information gathering and arrangement, discussion and presentation of learning outcomes. This can be seen as the transition from learning from computing to learning with computing."*

D.H. Jonassen [95]

*"I use the term Courseware Engineering to denote an emerging set of practices, tools and methodologies which result from attempts to take an engineering approach to the production of courseware. There is an implicit analogy with software engineering."*

P. Goodyear [71]

*"Instructional Engineering may be defined as: A method that supports the analysis, the creation, the production, and the delivery of a learning system, integrating the concepts, the processes and the principles of instructional design, software engineering, and knowledge engineering."*

G. Paquette [122]

Por tanto, y tomando como referencia las definiciones expuestas, desde el punto de vista de la forma de trabajo y las técnicas empleadas, el «desarrollo de software para la instrucción» se puede entender como el proceso de elaboración de sistemas para la instrucción basados en recursos informáticos. La elaboración de este tipo de sistemas requiere la combinación de principios del desarrollo del software y el desarrollo de sistemas para la instrucción.

### 2.4.2. Métodos de desarrollo de software para la instrucción

El desarrollo de software para la instrucción es un proceso complejo que une a la dificultad propia del desarrollo de sistemas informáticos los inconvenientes del desarrollo de la instrucción. A fin de superar estos inconvenientes ha surgido una tendencia encaminada a sistematizar el proceso de automatización de la instrucción [146]. De manera más detallada, la sistematización del proceso de desarrollo de software para la instrucción persigue la consecución de los siguientes objetivos [144]:

- Aumento de la eficiencia. La sistematización del proceso de desarrollo permite disponer de una estructura de trabajo que minimice los retardos y abrevie la toma de decisiones.
- Mejora de la calidad. Un proceso de desarrollo sistemático proporciona un marco de trabajo dentro del cual se pueden describir, discutir y evaluar las actividades acometidas. La revisión de estas actividades, y de los resultados obtenidos, aporta indicaciones para la mejora del proceso.
- Abstracción del proceso. El desarrollo debe acometerse de manera progresiva, utilizando sucesivos niveles de abstracción. En un primer momento, la solución debe contemplar únicamente aspectos abstractos o genéricos, especificando los mismos en posteriores etapas del proceso.
- Necesidad de gestión. El desarrollo de sistemas de gran tamaño y complejidad lleva aparejado la realización de labores de seguimiento y control. La gestión del desarrollo requiere la existencia de puntos de inspección que permitan la monitorización del proceso.

El resultado de la sistematización del proceso de desarrollo del software para la instrucción ha sido la aparición de una serie de modelos prescriptivos que guían la adecuada automatización de la instrucción:

*"Effective training programs are more likely because the ISD model increases the probability that the courseware will match the objectives and not veer off in a different direction."*

Los métodos de desarrollo de software para la instrucción entroncan de manera directa con los modelos de Desarrollo de Sistemas para la Instrucción (ISD, *Instructional Systems Development*) [145]. Tal es la similitud de objetivos entre ambas realidades que se ha generalizado la utilización de modelos tradicionales de ISD como paradigma para la automatización de la instrucción [78]. No obstante, la particularidad de los sistemas de aprendizaje asistido por ordenador ha propiciado una nueva tendencia encaminada a adaptar prácticas propias del desarrollo de sistemas software a la producción de este tipo de sistemas de aprendizaje [147].

Los métodos de desarrollo de software para la instrucción, al igual que los procesos de diseño de la instrucción, poseen un carácter prescriptivo: proponen un conjunto de actividades que conforman el proceso más adecuado para alcanzar un determinado propósito. De manera genérica, con pequeñas salvedades según el modelo considerado, los métodos de desarrollo de software para la instrucción establecen cinco tareas básicas: (1) La identificación de las necesidades instructivas; (2) La especificación de la solución; (3) La implementación o codificación del sistema para la instrucción; (4) El despliegue o puesta en uso del sistema; y (5) La evaluación de la solución desarrollada. Los métodos de desarrollo de software para la instrucción se pueden clasificar en dos grupos [89]:

- Modelos secuenciales. Los modelos secuenciales definen una sucesión de etapas, donde el resultado de cada una de las fases se utiliza como entrada de la fase siguiente. Se trata de modelos obtenidos a partir de la conjunción de modelos ISD clásicos (diseño de la instrucción) y el modelo de desarrollo en cascada (ingeniería del software)

Los modelos secuenciales surgieron como respuesta primigenia al desarrollo de la instrucción asistida por ordenador. La sencillez de los primeros productos *courseware* permitía aplicar, de manera casi directa, los principios propios de los modelos de ISD clásicos: (1) Se emplea un proceso de desarrollo lineal; (2) Las distintas etapas son independientes entre sí; y (3) El resultado de cada una de las fases se utiliza como entrada de la fase siguiente. Una característica habitual de los modelos lineales es la ausencia de mecanismos de evaluación y retroalimentación [89]. En estas condiciones, la eficacia de los modelos secuenciales se ve lastrada por el aumento de la complejidad del sistema a desarrollar.

- Modelos evolutivos. Los modelos evolutivos proponen el desarrollo incremental del sistema, refinando de manera progresiva las características del sistema. Los modelos evolutivos, caracterizados por la continua mejora del producto, proporcionan una alternativa natural al desarrollo de sistemas de instrucción complejos [104].

Los modelos evolutivos tienen su principal referencia en los trabajos de Tennyson [146] sobre la automatización del diseño de la instrucción. En los mismos, Tennyson introduce el concepto de «modelos ISD de cuarta generación», aquellos concebidos para el diseño de la instrucción asistida por ordenador, y establece los rasgos fundamentales que deben respetar este tipo de modelos: (1) Se trata de procesos no lineales; y (2) Carecen de límites rígidos entre etapas.

A continuación, se realizará la revisión de distintos métodos de desarrollo de software para la instrucción, centrándose en el modelo de análisis que proponen.

## I. Modelo de Dean & Whitlock

El «modelo de Dean & Whitlock» describe el proceso de desarrollo de sistemas de «Enseñanza Basada en Ordenadores» (CBL, *Computer Based Learning*). De acuerdo con los autores del modelo [39], CBL es un término genérico que se refiere tanto a la utilización de ordenadores en el proceso de aprendizaje, conocido como «Formación Asistida por Ordenador» (CAT, *Computer Assisted Training*), como a la formación basada y gestionada por ordenadores, «Aprendizaje Gestionado mediante Ordenadores» (CML, *Computer Managed Learning*). En consecuencia, el «modelo de Dean & Whitlock» puede considerarse como una herramienta genérica para el desarrollo de todo tipo de software para la instrucción.

### Modelo de proceso

El «modelo de Dean & Whitlock» define un total de quince actividades, agrupadas en cuatro etapas: (1) Investigación del problema; (2) Planificación del curso; (3) Desarrollo; (4) Implementación y Evaluación. La etapa de *Desarrollo* incluye tanto el diseño técnico del sistema (diseño de pantallas, flujos de datos, etc.) como la posible codificación del mismo.

### Fase de análisis

La labor de análisis propuesta por el modelo se corresponde, básicamente, con la etapa de *Investigación del problema*. Esta fase se ejecutan tres actividades encargadas de determinar las condiciones de la instrucción y la forma de despliegue de la misma. Las actividades estudian, respectivamente: (1) Los objetivos instructivos perseguidos; (2) Las tareas necesarias para alcanzar dichos objetivos; y (3) El conjunto de tareas que podrán ser ejecutadas utilizando un ordenador.

Adicionalmente, al inicio de la etapa de *Desarrollo*, se propone una actividad encargada de definir un conjunto de «reglas» que expresen los conceptos a enseñar y los procedimientos a ejecutar. El objetivo es disponer de una descripción detallada del proceso instructivo soportado por el sistema, a fin de facilitar el posterior diseño técnico y codificación del mismo.

### Artefactos

El «modelo de Dean & Whitlock» se basa en la elaboración de narrativas que describan los distintos aspectos que influyen en la instrucción. Estas narraciones no deben seguir un formato ni estructura determinada.

Como aportación más significativa, se pueden destacar las reglas elaboradas en la etapa de *Desarrollo*. Se trata de descripciones, expresadas en forma de pseudocódigo, que representan la secuencia de pasos necesarios para acometer un procedimiento del sistema. La descripción debe abarcar tanto aspectos instructivos (contenidos a mostrar) como computacionales (comandos u operativas a ejecutar)

### Consideraciones de uso

El «modelo de Dean & Whitlock» se puede considerar como una aportación primigenia al campo de la automatización de la instrucción. Tomando como base los principios del diseño de la instrucción, incorpora actividades específicas de automatización, pero poco elaboradas o precisas. Así mismo, el modelo se limita a establecer un proceso, careciendo tanto de un método preciso como de elementos de gestión. Desde el punto de vista del análisis, sigue la tendencia de los modelos de diseño de la instrucción: el análisis se basa en el estudio de los aspectos del problema que influyen en la instrucción.

## II. Método de Alessi & Trollip

El «método de Alessi & Trollip» propone un esquema de desarrollo mucho más detallado y preciso que el «modelo de Dean & Whitlock». El resultado es un método de propósito general, dirigido a la elaboración de recursos instructivos por parte de los propios docentes.

### Modelo de proceso

Alessi & Trollip [2] establecen cuatro etapas fundamentales dentro del proceso de instrucción: (1) Presentación de la información. Se exponen, utilizando distintos medios y recursos, los contenidos al alumno; (2) Guía del alumno. Se tutoriza la comprensión y asimilación de la información; (3) Práctica. Se ponen en práctica los conocimientos adquiridos; (4) Evaluación. Se evalúan los nuevos conocimientos. El «método de Alessi & Trollip» se fundamenta en esta visión de la instrucción para definir el proceso de desarrollo. El método propone un total de nueve actividades divididas en tres etapas:

- Planificación. Se corresponde con la labor de análisis del problema. La fase se centra en el estudio del contexto en el cual se utilizará el recurso, y la especificación de contexto en el cual se desplegará.
- Diseño. Fase principal del proceso de desarrollo. Etapa encargada de determinar el proceso instructivo a seguir y la estructura definitiva del sistema. La fase agrupa tres actividades: (1) *Design Instruction*. Se define el proceso de aprendizaje, así como las tareas instructivas, actividades y contenidos; (2) *Flowchart the lesson*. Se determina la secuencia de materiales a utilizar; y (3) *Storyboard the displays*. Se detalla la apariencia y contenidos de las pantallas del sistema.
- Desarrollo. Se elabora el producto. El sistema desarrollado suele basarse en sistemas y herramientas ya existentes.

Adicionalmente, aunque sin agrupar en una etapa específica, el método propone una actividad de revisión y evaluación de los resultados a lo largo de todo el proceso.

### Fase de análisis

Tal y como indican los propios autores [3], la fase de análisis del método toma como referencia la etapa de análisis del modelo ADDIE. De manera análoga al método ADDIE, la fase de análisis se centra en el estudio de los aspectos que condicionan el proceso de desarrollo. La diferencia se encuentra en el mayor detalle de los pasos necesarios para recopilar esta información.

La fase de análisis del «método de Alessi & Trollip» define un total de diez actividades. Las actividades abarcan desde la definición del alcance del proyecto a la identificación de las condiciones del problema instructivo, pasando por el análisis de costes, la planificación del proyecto o la definición preliminar de la apariencia del sistema. Un aspecto interesante del método es la inclusión de una actividad de *brainstorming*. La actividad esta orientada a obtener una aproximación inicial sobre la metodología instructiva más adecuada a las condiciones del problema.

### Artefactos

Una de las características más destacadas del «método de Alessi & Trollip» es la relevancia concedida a la documentación. El método propone distintas plantillas de documento adaptadas a los objetivos y tareas de cada actividad del proceso. Estos documentos constituyen el producto de cada una de las distintas actividades, permitiendo la constante revisión y evaluación del proceso.

### Consideraciones de uso

El primer aspecto a tener a considerar sobre el «método de Alessi & Trollip» es que se trata de un método de desarrollo, y no de un modelo de proceso. El resultado es una definición muy precisa de los pasos más adecuados para desarrollar software para la instrucción. Al mismo tiempo, aunque el método se ha demostrado útil para el desarrollo de todo tipo software para la instrucción, alcanza sus mejores resultados al elaborar productos soportados por herramientas ya existentes.

Desde el punto de vista del análisis, el método propone un estudio muy completo de los distintos aspectos que influyen en un proyecto de desarrollo. Especial interés merece la labor de *brainstorming*, que actúa como paso previo del análisis de tareas acometido en la fase de diseño [3]. Por último, debe destacarse la precisión y detalle de las plantillas de documento propuestas por el método.



### III. Método MISA

El método MISA (*Méthode D'Ingénierie de Systèmes D'Apprentissage*) ha sido desarrollado por Gilbert Paquette y su equipo de la Universidad de Quebec. Se trata, tal y como indica su propio autor [122], de un método que trata de aunar la experiencia adquirida en el desarrollo de cursos virtuales, con el conocimiento y las investigaciones en el diseño de la instrucción.

#### Modelo de proceso

El método MISA establece treinta y cinco tareas principales y un total de ciento cincuenta tareas secundarias. El resultado de cada una de las tareas principales es un documento que defina o modela, según el caso, el conocimiento tratado por la tarea. Estos documentos se denomina «elementos de documentación» (ED) y su inclusión está inspirada en la ingeniería del software [122].

A su vez, las tareas principales se agrupan en seis fases y cuatro ejes. Las fases se corresponden con las etapas del proceso de desarrollo: (1) Definición del problema de aprendizaje; (2) Propuesta de solución preliminar; (3) Diseño del proceso instructivo; (4) Diseño de materiales; (5) Elaboración y validación de materiales; y (6) Despliegue del sistema instructivo. Por otro lado, los ejes determinan las distintas perspectivas presentes el proceso de instrucción:

- *Knowledge model*. Se refiere a los conocimientos, habilidades y aptitudes que se desarrollarán mediante el sistema.
- *Instructional model*. Definición del proceso instructivo del sistema: recursos, actividades, estrategias, métodos, etc.
- *Media model*. Centrado en el estudio de los medios disponibles para el desarrollo de los recursos del sistema.
- *Delivery model*. Actividades de gestión, formación e infraestructuras necesarias para distribuir el sistema.

Cada ED tiene un número de identificación de tres cifras. Las cifras de este número se corresponde, respectivamente, con la fase del proceso, el eje de interés y un secuencial por bloque. Así, el «ED 220 - *Instructional orientation principles*» se corresponde con el primer documento de la fase de diseño del proceso instructivo.

### Fase de análisis

Aunque las numerosas publicaciones sobre MISA no especifican claramente que fases del proceso se corresponde con la labor de análisis, en este trabajo se ha optado por revisar las dos primeras fases del proceso:

- La fase inicial se centra en la definición del alcance del proyecto. Agrupa un total de cinco tareas principales encargadas de determinar los objetivos del proyecto, el contexto de utilización del sistema y los recursos disponibles. El resultado es una serie de documentos que describen, mediante narrativas, el problema a resolver.
- La segunda fase especifica el problema y plantea una solución preliminar. Siguiendo el ejemplo de los modelos de diseño instructivo tradicionales, la fase revisa los objetivos instructivos, las características de los alumnos y el tipo de conocimiento que se desea transmitir. Al mismo tiempo, incorpora actividades de gestión (como el análisis de coste-beneficio) y el análisis de tareas instructivas. La fase agrupa nueve tareas principales.

### Artefactos

La principal aportación de MISA es el lenguaje MOT (*Modeling with Object Types*). Se trata de un lenguaje de modelado que permite la representación del conocimiento en base a conceptos abstractos y relaciones entre los mismos [122]. El lenguaje MOT establece tres tipos de conocimiento abstracto: conceptos, procedimientos y principios. Cada tipo de conocimiento agrupa distintos hechos, entendiendo como tal: ejemplos, procesos o trazas, y sentencias. Junto a la definición conceptual del lenguaje, MISA ofrece una herramienta gráfica de modelado específica para el lenguaje MOT.

### Consideraciones de uso

MISA es un método de desarrollo muy completo, concebido para proporcionar una base para el desarrollo de teorías cognitivas y constructivistas [122]. El método permite el desarrollo de todo tipo de sistemas instructivos, habiendo demostrado su utilidad para el desarrollo de cursos en entornos virtuales en numeros proyectos académicos e industriales.

#### IV. IMS Learning Design - Guía de Buenas prácticas

No se trata de un método de desarrollo, ni de un modelo de proceso propiamente dicho, sino de un conjunto de buenas prácticas y recomendaciones publicadas junto a la especificación *IMS Learning Design* (IMS-LD). La especificación IMS-LD [91] formaliza un lenguaje de modelado para la definición de recursos instructivos. El hecho de haberse convertido casi en un estándar, de contar con una amplia comunidad de usuarios, y de proponer una forma de trabajo específica, ha aconsejado la inclusión de la «Guía de Buenas Prácticas de IMS-LD» [90] en esta revisión.

##### Modelo de proceso

La especificación IMS-LD fue concebida como un Lenguaje de Modelado Educativo (EML, *Educational Model Language*) de propósito general; es decir, capaz de expresar todo tipo de procesos de enseñanza y aprendizaje. Por este motivo, el modelo de proceso propuesto en la «Guía de Buenas Prácticas» debe ser lo suficientemente flexible como para permitir el diseño de todo tipo de escenarios instructivos.

La «Guía de Buenas Prácticas» propone un modelo de proceso secuencial, dividido en cuatro etapas: (1) Análisis. Responsable del estudio de un problema educativo concreto; (2) Diseño. Encargado de identificar la solución instructiva más adecuada al problema planteado; (3) Desarrollo. Definición del recurso instructivo utilizando la notación XML específica; y (4) Evaluación. Se evalúa tanto el recurso definido como el diseño de la instrucción propuesto. De acuerdo con los propios autores de la guía, la fases de diseño y desarrollo tienen una especial relevancia dentro del proceso.

##### Fase de análisis

El objetivo final de la fase de la análisis es disponer de una narrativa que detalle el problema educativo a resolver. El análisis se inicia con la interlocución con los distintos usuarios y clientes del sistema. A partir de estas reuniones, se deduce el escenario educativo implicado y se redacta un documento de análisis. En ocasiones, a fin de evitar errores de interpretación o confusiones, el documento recopila «listas de verificación» (*checklist*) que facilitan la puesta en común de la información recopilada.

### Artefactos

Aunque IMS-LD es una especificación concebida para el modelado de todo tipo de procesos instructivos, independientemente de la automatización o no del proceso, la realidad es que se encuentra muy influenciada por las ciencias de la computación. Así, por ejemplo, la propia especificación se detalla en base a esquemas de XML. Resultado de esta influencia es la utilización de una serie de artefactos ampliamente utilizados por el paradigma de desarrollo Orientado a Objetos. En concreto, las buenas prácticas de IMS-LD proponen los siguientes artefactos de análisis:

- Descripción de casos de uso. La narrativa resultado del análisis debe respetar un formato previamente establecido. El formato del documento, basado en la plantilla de Cockburn [32] para la descripción de casos de uso, contempla la siguiente información: tipo de aprendizaje, objetivos instructivos, contexto educativo, participantes, contenidos, tipos de recursos a utilizar, medios disponibles y otras necesidades.
- Definición de escenarios. Siguiendo la definición de Fowler sobre el concepto de escenario [59], IMS-LD propone la elaboración de escenarios que determinen la secuencia de pasos del proceso instructivo. Los escenarios se definen desde el punto de vista del estudiante y el instructor.

Un punto de controversia lo constituye el uso de **Diagramas de Actividades**. Según la «Guía de Buenas Prácticas» esta es una herramienta esencial de la fase de diseño, encargada de representar la estructura del proceso instructivo a modelar. Sin embargo, tal y como se expuso previamente (ver el epígrafe «Análisis Orientado a Objetos» de la sección 2.3.3), este artefacto es propio del análisis y no del diseño.

### Consideraciones de uso

El principal aspecto a considerar al valorar la «Guía de Buenas Prácticas» de IMS-LD es que se trata de un conjunto de recomendaciones, no de un método detallado de desarrollo. Esto lleva a que el proceso definido sea poco riguroso, impreciso y, en ocasiones, ambiguo. Sin embargo, realiza aportaciones interesantes desde el punto de vista de la automatización de la instrucción. La principal aportación tiene que ver con la utilización de herramientas de diseño específicas y, sobre todo, con la búsqueda de la formalización del conocimiento.

## V. Modelo de Goodyear

El modelo de Goodyear [73] debe considerarse más como un modelo de desarrollo de cursos virtuales que como un método de desarrollo de software para la instrucción. La descripción del método se encuentra contenida en el libro *Effective networked learning in higher education: notes and guidelines*, una guía elaborada por el profesor Peter Goodyear para fomentar el desarrollo de la educación superior a través de la red. La guía presenta distintas experiencias, recomendaciones y propuestas, entre las que se encuentra el modelo de desarrollo aquí glosado.

### Modelo de proceso

El modelo de desarrollo de Goodyear propone un modelo de proceso en cascada, dividido en cinco etapas que imitan las fases habituales del desarrollo de software:

- Planificación. Denominado por el autor como *feasibility*, es la etapa encargada de determinar el alcance e idoneidad del proyecto. La idoneidad del proyecto se abordará desde el punto de vista de su valor pedagógico, su viabilidad técnica y su rentabilidad económica.
- Análisis de requisitos. Responsable del estudio y especificación de los requisitos del sistema. La etapa contempla la elaboración de un catálogo de requisitos que abarcan aspectos instructivos, operativos y de gestión.
- Diseño. Etapa encargada de diseñar el proceso instructivo y buscar la solución tecnológica más adecuada al problema. A partir de los requisitos identificados en la etapa anterior se establece el método instructivo más adecuado y se determina la forma de soporte del proceso instructivo.
- Implementación. Desarrollo de la solución propuesta en la etapa de diseño. La etapa de implementación comprende la elaboración de los distintos componentes del sistema y su integración mediante la plataforma tecnología establecida.
- Evaluación. Se comprueba la validez del curso mediante la evaluación del producto elaborado. Según el autor del modelo la evaluación es una actividad esencial encargada de «*diagnose problems within a pilot study before offering the course to a wider audience*».

### **Fase de análisis**

La fase de análisis del modelo de Goodyear se centra en el estudio de los requisitos del curso a desarrollar. La labor de análisis del modelo se fundamenta en:

- Un modelo de requisitos. Se propone una clasificación del tipo de requisitos que intervienen en el desarrollo de un curso virtual. La clasificación incluye requisitos administrativos, tecnológicos y aquellos referidos al propio proceso instructivo: requisitos pedagógicos y docentes.
- El proceso de análisis. La fase de análisis de requisitos se divide a su vez en tres tareas principales: educación, especificación y validación de requisitos. Por cada una de estas tareas, el modelo ofrece una serie de recomendaciones sobre la forma de acometer el proceso.

El modelo de Goodyear propone una fase de análisis iterativa. La especificación de los requisitos se realiza progresivamente, a través de sucesivas iteraciones del proceso de análisis, reduciendo el grado de abstracción en cada una de las iteraciones.

### **Artefactos**

El resultado de la fase de análisis es un documento de especificación de requisitos. El documento debe contener una serie de narrativas que describan todos los requisitos del sistema, agrupados por tipos de requisitos y ordenados de manera descendente: de menor a mayor concreción. No obstante, el modelo de Goodyear no ofrece ninguna plantilla de documento o formato de especificación de requisitos.

### **Consideraciones de uso**

El modelo de Goodyear ha sido utilizado a lo largo de un lustro como paradigma de desarrollo para la elaboración de cursos virtuales. Se trata de un modelo sencillo, muy práctico, centrado en la definición de la secuencia de tareas que garanticen la eficacia del proceso de desarrollo. Desde el punto de vista de la labor de análisis, el modelo de Goodyear proporciona una interesante clasificación de requisitos, contemplando tanto aspectos instructivos como computaciones del sistema. En el lado opuesto, su principal carencia está relacionada con el tipo de artefactos propuestos. Los artefactos propuestos por el modelo se limitan a la definición de un documento de especificación de requisitos sin incidir en el formato o estructura del mismo.

## Capítulo 3

# Planteamiento del problema

*”Entonces, al hacerle tropezar con la dificultad y entorpecerse como un pez torpedo, ¿le hemos causado algún perjuicio? Un beneficio es lo que le hemos hecho, sin duda, en orden a descubrir la realidad. Porque ahora, no sabiendo, hasta investigará con gusto mientras que antes fácilmente hubiera creído, incluso delante de mucha gente y muchas veces, que estaba en lo cierto.”*

**Diálogo de Menón**

Platón

La sistematización del desarrollo de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador contribuye de manera decisiva a la mejora de la calidad de los productos elaborados [122]; sin embargo, la revisión de los modelos existentes revela la excesiva relevancia que aún hoy alcanza la experiencia en el proceso de desarrollo:

*”Well-defined, explicit, detailed, and integrated processes to provide sufficient guidance and support for all disciplines in everyday courseware development work are rather seldom. That it, the development process used and thus the quality of the courseware produced often depends heavily on the experience, knowledge and skills of the team members.”*

I. Grützner et al. [79]

La prevalencia de la experiencia en el proceso de desarrollo contribuye de manera negativa a uno de los objetivos esenciales de la ingeniería instructiva: la automatización del proceso desarrollo de la instrucción como medio para optimizar la elaboración de recursos de aprendizaje asistidos por ordenador [52]. La sistematización de la instrucción requiere de normas fijas, bien conocidas y validadas, que permitan transformar el proceso de desarrollo en una secuencia de actividades automáticas e indeliberadas. La consecución de este objetivo, tal y como demuestra la experiencia en el desarrollo de software, pasa por la existencia de métodos de análisis prescriptivos que permitan estudiar y representar el problema de manera repetible.

El estado de la cuestión del presente trabajo ha permitido constatar tres realidades: (1) La ausencia de métodos específicos para el análisis de sistemas de aprendizaje asistidos por ordenador; (2) La aplicación, casi directa, de las formas de análisis habituales en el desarrollo de la instrucción al campo de la enseñanza asistida por ordenador; y (3) La existencia de propuestas de análisis incompletas, ambiguas y excesivamente dependientes de la experiencia. En particular, y referido a las limitaciones de los modelos existentes, el análisis de software para la instrucción presentan carencias respecto al objetivo del análisis, centrado en la definición del problema instructivo e ignorando el estudio del sistema software que asistirá el proceso de aprendizaje [146], la filosofía de trabajo, alejada de los principios de la ingeniería del software [71], la metodología aplicada, basada en modelos de proceso lineales [83], o su limitación para integrar el conocimiento de los distintos perfiles presentes en el desarrollo de la enseñanza asistida por ordenador [20]. El resultado es un producto de análisis poco clarificador:

*"A strength of analysis and design in software engineering is the smooth transition from analysis representations of the problem to design representations of the solution.*

*(...)*

*What is not clear is the form of an instructional analysis tool which could be transformed into an instructional design representation."*

S. Bostock [20]



El presente capítulo estudia con detenimiento las limitaciones de los modelos de análisis existentes desde dos puntos de vista: la naturaleza del problema a resolver y el sentido del análisis en el proceso de desarrollo. El estudio de las distintas limitaciones permitirá contrastar las carencias de los modelos conocidos, revelando posibles líneas de actuación que guíen la elaboración de una propuesta de solución.

### **3.1. El objeto del análisis**

Un problema se concibe como la diferencia existente entre la situación actual y la situación deseada. De la misma manera, la resolución de un problema consiste en la toma de acciones que permitan eliminar o reducir dichas diferencias. La resolución de un problema requiere de una labor de búsqueda encaminada a comprender el problema y decidir la toma de acciones adecuada [140]. En el contexto de realización del trabajo, el problema se refiere a la necesidad de disponer de un sistema software que asista el proceso de aprendizaje en un contexto instructivo específico. La resolución del problema se corresponde con el proceso de desarrollo de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador, mientras que la labor de búsqueda se asocia con el análisis de las necesidades y condiciones que determinan las características del sistema a elaborar. La definición de un método de análisis adecuado pasa por la comprensión del tipo de problema a resolver, por el estudio de las distintas perspectivas presentes en el mismo y por el cometido final de la labor de análisis. Los siguientes apartados inciden en estos aspectos como medio para identificar el conjunto de factores que deben considerarse al definir una solución útil.

#### **3.1.1. La enseñanza asistida por ordenador**

La enseñanza asistida por ordenador hace referencia a la utilización de medios informáticos con fines educativos. Estos medios pueden abarcar desde simple productos multimedia a complejos cursos interactivos. Sin embargo, en todos los casos es posible identificar una serie de elementos comunes que condicionan la forma de trabajo. A continuación, se expondrán distintos escenarios de aplicación de sistemas de aprendizaje asistidos por ordenador como medio para identificar las particularidades del desarrollo de este tipo de sistemas.

**E.1.** Adaptar un curso existente a un entorno virtual. El escenario se corresponde con la necesidad de adaptar un curso de formación para su despliegue en un entorno virtual. En esta situación, la labor de análisis abarcará el estudio de la situación actual y del comportamiento esperado. En concreto, el problema se corresponderá con la definición de los recursos disponibles y la especificación de un proceso instructivo previamente definido.

**E.2.** Adaptar un curso virtual. Se realiza la labor de «reingeniería» sobre un curso virtual ya elaborado, llevando a cabo las adaptaciones necesarias para su despliegue en una plataforma o tecnología diferente. En este caso, el análisis debe centrarse en definir las operativas del sistema, establecer el contexto de utilización y especificar las necesidades y condiciones de despliegue.

**E.3.** Desarrollar un curso virtual en un contexto no reglado. Se entenderá por un contexto no reglado aquel en el cual no se imparte una formación de carácter académico; por ejemplo, cursos de adecuación a empleados, formación a colectivos, empleo de tutoriales, etc. En estos casos, el análisis debe centrarse en establecer los objetivos formativos y la manera en la cual se emplea el sistema, dejando a los diseñadores instructivos total libertad para la definición de la estrategia instructiva y la elaboración de materiales.

**E.4.** Desarrollar un curso virtual en un contexto reglado. Se corresponde con el desarrollo de curso asistido por ordenador utilizado en una institución académica. Por ejemplo, se incluirá en este grupo los cursos a distancia ofertados por Universidades. En este escenario el proceso instructivo está condicionado por ciertas normas que obligan, por ejemplo, a la realización de un examen final de adecuación, a la realización de evaluaciones continuas o a la realización de actividades obligatorias como tutorías o encuentros. El análisis de este tipo de sistemas requiere tanto una definición de las actividades instructivas como una especificación de las etapas del proceso instructivo condicionadas por el contexto, amén del estudio de las condiciones de despliegue, los medios disponibles y los recursos necesarios.

La revisión de estos escenarios revela una diferencia entre las circunstancias habituales en el desarrollo de un sistema software y las condiciones propias del desarrollo de software para la instrucción. Habitualmente, en el desarrollo de un sistema software se parte de un proceso de negocio bien definido, siendo responsabilidad del análisis la representación del proceso de negocio desde distintos puntos de vista a fin de determinar qué aspectos del proceso serán soportados por el sistema. En el supuesto del software para la instrucción el análisis del sistema presenta una doble perspectiva: (1) El estudio de un contexto educativo a fin de determinar el proceso instructivo más adecuado al mismo; y (2) La especificación de la forma en la cual el proceso instructivo será soportado por un sistema informático. La segunda de las perspectivas se corresponde con la actividad de análisis habitual en el desarrollo de sistemas software; sin embargo, el primero de los aspectos se corresponde con el análisis de la instrucción, siendo una actividad propia del desarrollo de sistemas para el aprendizaje pero bastante alejada de la forma habitual de trabajo en el desarrollo de software. Dada la doble vertiente del problema, algunos autores [20, 131] proponen como solución la total independencia entre el proceso de desarrollo de un sistema software y el posterior desarrollo del sistema informático que lo asista. En esta situación, se partiría de un estudio del problema instructivo, continuando con el diseño del proceso instructivo más adecuado y finalizando con el desarrollo del sistema software que asistirá el proceso instructivo. El cuestionamiento de esta solución se encuentra en el evidente solapamiento existente entre la definición del sistema instructivo y la especificación del sistema software; así, por ejemplo, el diseñador instructivo puede proponer una actividad que no pueda llevarse a cabo por las condiciones del sistema software, realizando una definición del cómo antes de la propia especificación del qué. Además, esta forma de trabajo resulta reiterativa en determinadas situaciones, como los escenarios 1, 2 y aquellos casos del 3 y 4 en el que se trate con docentes expertos, en las cuales el proceso instructivo viene dado por los propios interesados y el diseño instructivo se limita a la especificación de un proceso ya conocido. La alternativa a esta forma de trabajo se encuentra en la definición de un método de análisis que conjugue el análisis de sistemas y el análisis instructivo. Un método de estas características deberá proporcionar medios adecuados para el análisis tanto del contexto instructivo como del sistema software que asistirá el aprendizaje.

### 3.1.2. Un método de análisis correcto

El análisis se concibe como una actividad intelectual encargada de examinar una realidad con el objetivo de comprender su significado. A pesar de la corrección de esta definición, a la hora de proporcionar un artefacto de diseño (en el caso que nos ocupa, un método de análisis) es necesario profundizar en el sentido del problema organizativo que se pretende resolver a fin de establecer, sin ambigüedad, la función del artefacto en el proceso de desarrollo [86]. La revisión realizada en el capítulo de estado de la cuestión nos permite establecer una serie de tareas básicas cuya realización debe ser responsabilidad de un método de análisis:

- Un método de análisis permite abstraer la realidad, especificando únicamente la información relevante para la comprensión del problema. La actividad se corresponde con el análisis interpretativo y su capacidad para proporcionar mecanismos que permiten ofrecer una representación simplificada del problema a resolver.
- Un método de análisis permite conocer las causas del problema que motiva el desarrollo de un producto software. El método debe contemplar el estudio del proceso de negocio que será satisfecho por el sistema. La actividad se corresponde con el análisis regresivo y su capacidad para estudiar las causas o motivaciones de un problema.
- Un método de análisis permite establecer las necesidades y condiciones del sistema software a desarrollar. El método debe contemplar el estudio de todas aquellas facetas que permiten definir tanto el comportamiento como la funcionalidad del sistema. La actividad se corresponde con el análisis resolutivo y su capacidad para descomponer el problema en sus elementos primigenios.

Un método de análisis para el desarrollo de sistemas software únicamente se considerará correcto si satisface estas responsabilidades. En consecuencia, y centrándose en el contexto de la enseñanza asistida por ordenador, un método de análisis para el desarrollo de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador deberá permitir el estudio y representación tanto del proceso de aprendizaje como de la forma en la cual dicho proceso es soportado por un sistema software.

## 3.2. La ejecución del análisis

La labor de análisis es una de las actividades fundamentales del proceso de desarrollo de sistemas informáticos, y una de las principales causas del éxito o fracaso de la actividad de desarrollo:

*"The success or failure of information system development is determined to a great extent by how well the analysis is performed ."*

J. Preece [123]

La significación del análisis en el proceso de desarrollo de software puede extrapolarse, de manera directa, al desarrollo de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador. De hecho, y de acuerdo con distintos autores, la labor de análisis no es sólo una actividad significativa del proceso de desarrollo, sino uno de los puntos críticos que condiciona la validez de la solución desarrollada:

*"The planning phase sets the stage for the whole project. The necessary groundwork for understanding what the project is all about is completed in this phase. We take the strong position that the more effort you put into planning, the smoother the rest of the project will go and the better the quality will be of your final product."*

S.M. Alessi et al. [3]

La consecuencia es la necesidad de disponer de artefactos específicos que garanticen el adecuado estudio y especificación del problema. Desgraciadamente, ésta manifiesta significación de la labor de análisis no se ha visto traducida en formas de trabajo plenamente satisfactorios, lo que repercute de manera negativa tanto en la calidad del producto elaborado como en la posible automatización del proceso de desarrollo. Con el objetivo de identificar las limitaciones existentes, y a fin de disponer de un método de análisis que supere estas carencias, es necesario incidir en la forma en la cual se ejecuta la labor de análisis, estableciendo las bases para disponer de una solución eficaz.

### 3.2.1. Los actores del proceso de desarrollo

Los actores del proceso de desarrollo se corresponden con los distintos perfiles cuya actividad tiene influencia en el desarrollo y utilización de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador. La identificación de actores permite establecer el tipo de información a considerar y las tareas necesarias para la obtención y tratamiento de la misma. El software para la instrucción se concibe como un tipo particular de software [71] regido por los principios y pautas propios del desarrollo de software. Siguiendo esta filosofía, la definición de participantes se basará en los perfiles habituales en el desarrollo de sistemas informáticos [124]

- Usuario final. Cualquier persona o aplicación que opera con el sistema a fin de ejecutar una tarea. El usuario final es el destinatario directo del producto elaborado gracias al proceso de desarrollo.
- Interesado. El interesado (traducción del vocablo inglés *stakeholder*) hace referencia a la persona, grupo de personas u organización que presentan un interés directo en el desarrollo de un producto software. El interesado puede coincidir con el cliente pero su labor en el proceso de desarrollo es completamente diferente: el cliente solicita el desarrollo de un producto, mientras que el interesado establece las necesidades y condiciones del sistema a desarrollar.
- Analista. Individuo encargado del estudio del problema que será satisfecho por el sistema software. El analista es el encargado de definir tanto el «modelo de negocio» como el «modelo de aplicación» que describen el tipo de sistema software que se desea desarrollar.
- Diseñador de software. Responsable de diseñar una solución software que satisfaga un modelo de negocio de acuerdo a las restricciones establecidas por el modelo de aplicación.

En el caso de la enseñanza asistida por ordenador existen ciertas limitaciones que obligan a variar los perfiles habituales en el desarrollo de sistemas informáticos. La principal limitación se encuentra en la figura del interesado y su relevancia como fuente principal de información. Tal y como se expuso en el apartado anterior, al desarrollar una sistema software para la instrucción no siempre existe un proceso

de aprendizaje conocido, sino una serie de necesidades instructivas, objetivos educativos y condiciones de aprendizaje que deben ser satisfechas por el sistema. En este contexto, es necesario distinguir entre la persona que fija los requisitos del sistema y aquellos expertos que determinan el proceso de aprendizaje más adecuado. Los participantes habituales en el desarrollo de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador se pueden clasificar en los siguientes perfiles:

- Diseñador instructivo. Individuo encargado de definir el proceso de aprendizaje que será satisfecho por el sistema. El diseñador instructivo se encarga de estructurar contenidos y actividades instructivas de manera que se puedan alcanzar unos determinados objetivos educativos.
- Profesor. Individuo encargado de fijar las necesidades instructivas satisfechas por el sistema. El profesor desempeña, habitualmente, la función de experto encargado de establecer el tipo de contenidos a transmitir.
- Analista de sistema. Persona encargada de estudiar el proceso de aprendizaje y las cualidades del sistema software que lo asiste a fin de establecer con precisión la funcionalidad, comportamiento y forma de utilización de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador.
- Alumno. Destinatario último del proceso de aprendizaje. Usuario del sistema que ejecuta una serie de actividades instructivas con el objetivo de adquirir determinadas competencias.
- Tutor. Encargado del seguimiento del proceso de aprendizaje de uno o varios alumnos. Usuario del sistema que ejecuta una serie de actividades de soporte con el objetivo de tutelar la labor de alumnos.

El resultado es la aparición de un perfil específico, definible como experto del dominio instructivo, encargado de fijar el proceso de aprendizaje más adecuado al contexto instructivo considerado. Estos expertos se corresponderán, según caso, con diseñadores instructivos, docentes con gran experiencia en la materia a impartir, expertos en contenidos, etc. La labor de estos expertos condiciona el trabajo del analista del sistema, puesto que fijan el «modelo de negocio» que debe ser satisfecho por la aplicación. De acuerdo con esta nueva estructura, el analista de sistemas debe tomar como punto de partida la información suministrada no sólo por los interesados, sino también por los expertos en el dominio de aplicación.

### 3.2.2. Un método de análisis eficaz

La relación existente entre la ingeniería del software y la ingeniería instructiva es especialmente significativa en el caso de la labor de análisis [71]. Por tanto, un método para el análisis de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador debería basarse en los principios de la ingeniería del software. De acuerdo con esta idea, y a fin de establecer las cualidades de un método de análisis eficaz, se realizará la revisión de los principios que rigen la aplicación de la ingeniería del software. La ingeniería del software viene determinada por los siguientes principios [124]:

- Rigor. El rigor hace referencia a la definición de artefactos de acuerdo a patrones y modelos conocidos. La definición de artefactos software rigurosos permite la sistematización del proceso de desarrollo de software.
- Abstracción. La abstracción permite tratar el problema prescindiendo de aspectos irrelevantes para la solución que se pretende alcanzar.
- Refinamiento. El concepto de refinamiento está estrechamente relacionado con el principio de abstracción. La resolución del problema se realiza de manera progresiva, incrementando poco a poco el nivel de detalle.
- Modularidad. La modularidad consiste en dividir el problema en partes más sencillas y con sentido propio. La modularidad pretende facilitar el estudio de aquellos conceptos que abordados en su totalidad resultan excesivamente complejos.
- Generalidad. La generalidad hace referencia al estudio del problema de la manera más genérica posible. El objetivo de este principio es buscar soluciones generales que permitan resolver no sólo un problema específico sino todos aquellos casos con características comunes.

Estos principios son de carácter general, por lo cual deben aplicarse tanto al proceso de desarrollo como al producto de cada una de sus etapas. En lo que respecta a su puesta en práctica, la aplicación de los principios se lleva a cabo mediante la definición de métodos y técnicas de desarrollo específicas. En el caso de la etapa de análisis, la aplicación de los principios se traduce en la definición de un método de análisis que cumpla una serie de requisitos.



En primer lugar, y referidos a la forma de estudiar el problema, un método de análisis debe disponer de un proceso calificado como:

- Sistemático. Un proceso de análisis sistemático se caracteriza por la definición rigurosa de las actividades que conforman el proceso.
- Evolutivo. Un proceso de análisis evolutivo permite realizar aproximaciones sucesivas al problema como medio para alcanzar una especificación adecuada del mismo. El análisis evolutivo se basa en la realización de sucesivas versiones de un mismo artefacto. Un método de análisis evolutivo respeta los principios de abstracción y generalidad.
- Prescriptivo. Un proceso de análisis prescriptivo (desde el punto de vista de la reutilización) proporcionará las pautas que permitan la elaboración de soluciones genéricas y basadas en la reutilización de componentes. Un método de análisis prescriptivo (desde el punto de vista de la reutilización) respeta los principios de modularidad y generalidad.

De igual manera, pero en este caso referido a la forma de representar el conocimiento, el producto del análisis se basará en:

- Un lenguaje de modelado. El método de análisis debe proporcionar una notación adecuada que permita la especificación de las necesidades y condiciones del sistema a desarrollar. La definición de lenguajes de modelado se corresponde con la aplicación del rigor al producto del análisis.
- Representación de la especificidad. El método de análisis debe disponer de mecanismos que permitan representar el conocimiento común a los sistemas de un dominio de aplicación. La especificidad está relacionada por la generalidad y la capacidad de abstracción.
- Separación de perspectivas. El resultado del análisis debe proporcionar una representación de las distintas perspectivas de un sistema software. Tradicionalmente, estas perspectivas se corresponden con la estructura, comportamiento y funcionalidad del sistema. La separación de perspectivas se asocia a la modularidad y la capacidad de abstracción.

La conjunción de todas estas premisas permitirá disponer de un método de análisis no sólo correcto sino también eficaz desde el punto de vista de su forma de trabajo.

### 3.3. El análisis del software para la instrucción

El último paso de la actividad de determinación del problema pasa por la evaluación crítica de las propuestas existentes y la formulación precisa del problema. La concreción del problema permite delimitar el alcance del trabajo, sirviendo como base para la definición de los objetivos del trabajo y estableciendo un marco de evaluación para la valoración de la propuesta de solución.

#### 3.3.1. La evaluación de las propuestas existentes

La ejecución del análisis implica el estudio de una realidad y la representación de la misma mediante una notación adecuada. Basándose en esta idea, la evaluación de las propuestas recopiladas en el estado de la cuestión se realizará desde el punto de vista del proceso propuesto y el producto obtenido del análisis.

##### El proceso de análisis

El proceso de análisis hace referencia a la forma en la cual el método de análisis acomete el estudio del problema como medio para comprender sus motivaciones y condicionantes. La revisión se realizará de acuerdo a los siguientes criterios:

- El método contempla el estudio de los distintos factores que condicionan el desarrollo de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador.
- El método contempla el estudio del problema instructivo que motiva el desarrollo del sistema.
- El proceso de análisis es sistemático, evolutivo y prescriptivo desde el punto de vista de la reutilización.

La tabla 3.1 sintetiza el resultado de la evaluación del proceso de análisis. Por cada uno de los criterios se han recogido una serie de factores, marcando con un ( $\checkmark$ ) si el método lo recoge y con una ( $\times$ ) en caso contrario. En algunos casos, se ha utilizado un signo de equivalencia ( $\equiv$ ) para denotar que la información existente sobre el método no especifica la realización o no de la tarea.

<b>El estudio del sistema</b>	Modelos revisados				
	M.1	M.2	M.3	M.4	M.5
1. Estudia el proceso instructivo	✓	✓	✓	✓	✓
2. Estudia el sistema software	✓	✓	✓	×	✓
3. Revisa el contexto instructivo	×	✓	✓	×	✓
4. Revisa el contexto de la aplicación	×	×	×	×	✓

<b>El estudio del problema instructivo</b>	Modelos revisados				
	M.1	M.2	M.3	M.4	M.5
1. Define los objetivos educativos	✓	✓	✓	✓	✓
2. Establece actividades instructivas	≡	✓	✓	✓	✓
3. Establece contenidos a transmitir	✓	✓	✓	×	✓
4. Especifica el perfil del alumno	✓	✓	✓	×	✓

<b>Los principios del modelo</b>	Modelos revisados				
	M.1	M.2	M.3	M.4	M.5
1. Consistente	×	✓	✓	×	×
2. Riguroso	×	✓	✓	✓	×
3. Evolutivo	≡	✓	✓	×	✓
4. Orientado a reutilización	×	×	×	×	×

## [Leyenda]

M.1 - Método de Dean & Whitlock	✓ Cumple el criterio
M.2 - Método de Alessi & Trollip	× No cumple el criterio
M.3 - Método MISA	≡ No ha podido determinarse
M.4 - Buenas prácticas IMS-LD	
M.5 - Modelo de Goodyear	

Tabla 3.1: Revisión del proceso de análisis de las propuestas existentes

### El producto del análisis

El producto del análisis hace referencia a la forma en la cual el método de análisis representa el problema como medio para especificar sus características. La revisión de las propuestas existentes se realizará de acuerdo a los siguientes criterios:

- El método dispone de formalismos que permiten representar con rigor y precisión el problema.
- El método contempla la representación de las distintas perspectivas que conforman un sistema de aprendizaje asistido por ordenador.
- El método dispone de mecanismos que permiten representar el conocimiento de un determinado dominio instructivo.

La tabla 3.2 sintetiza el resultado de esta evaluación. Como en el caso anterior, por cada uno de los criterios se han recogido una serie de factores, marcando con un ( $\sqrt{\phantom{x}}$ ) si el método lo recoge y con una ( $\times$ ) en caso contrario. En algunos casos, se ha utilizado un signo de equivalencia ( $\equiv$ ) para denotar que la información existente sobre el método no especifica la representación o no del concepto.

Un último factor a considerar relacionado con el producto del análisis tiene que ver con el carácter intuitivo o no de la notación empleada. El producto del análisis tiene por objeto proporcionar una representación lo más completa posible de las necesidades y condiciones del problema a resolver a fin de facilitar su comprensión y entendimiento. Por tanto, un modelo de análisis correcto y completo, pero poco intuitivo o excesivamente complejo, no resultará útil para la resolución del problema. Desgraciadamente, las propuestas revisadas que disponen de una notación rigurosa (el ejemplo más claro de esta situación lo representa el método MISA y su lenguaje de modelado MOT [122]) no se caracterizan por su el carácter intuitivo del tipo de representación utilizada. De igual manera, los modelos revisados carecen de medios para integrar el conocimiento de los distintos participantes en el proceso de análisis o para facilitar la comunicación entre los mismos.

<b>La representación del problema</b>	Modelos revisados				
	M.1	M.2	M.3	M.4	M.5
1. Propone formularios o plantillas	×	✓	✓	✓	×
2. Utiliza notación (syntaxis) específica	×	×	✓	✓	×
3. Representación automatizable	×	×	✓	✓	×
4. Correspondencia entre tareas y productos	≡	×	×	✓	✓

<b>Las perspectivas del sistema</b>	Modelos revisados				
	M.1	M.2	M.3	M.4	M.5
1. La estructura de la aplicación	×	✓	✓	×	×
2. El comportamiento de la aplicación	≡	✓	×	✓	✓
3. La funcionalidad de la aplicación	✓	✓	✓	✓	✓
4. Las condiciones externas	×	✓	✓	×	✓

<b>El conocimiento del dominio</b>	Modelos revisados				
	M.1	M.2	M.3	M.4	M.5
1. El alcance del dominio	×	×	×	×	×
2. Establece la semántica del dominio	×	✓	×	×	×
3. Definición de elementos comunes	×	✓	×	×	✓
4. Definición de elementos variables	×	×	×	×	×

## [Leyenda]

M.1 - Método de Dean & Whitlock	✓ Cumple el criterio
M.2 - Método de Alessi & Trollip	× No cumple el criterio
M.3 - Método MISA	≡ No ha podido determinarse
M.4 - Buenas prácticas IMS-LD	
M.5 - Modelo de Goodyear	

Tabla 3.2: Revisión del producto del análisis de las propuestas existentes

### 3.3.2. La concreción del problema

La evaluación de las propuesta existentes nos permite constatar una realidad ya recogida en la introducción del presente capítulo: la ausencia de propuestas plenamente satisfactorias para el análisis de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador. Este hecho se deriva de la existencia de una serie de problemas específicos:

**P.1.** Las propuestas estudiadas no identifican con claridad los distintos perfiles participantes en el proceso de análisis ni proporcionan mecanismos que faciliten la comunicación entre los mismos.

**P.2.** Las propuestas revisadas acometen el estudio de cada sistema de manera independiente y sin considerar las características propias del contexto de aplicación. El resultado es una labor de análisis dependiente, en gran medida, de la experiencia de los participantes y carente de mecanismos que promuevan la reutilización.

**P.3.** Las propuestas existentes, influenciadas por los modelos tradicionales de desarrollo de la instrucción, se centran en el estudio del problema instructivo. Los métodos revisados establecen actividades que permiten analizar el contexto instructivo; sin embargo, no estudian detalladamente la forma en la cual el proceso de aprendizaje será asistido por un sistema software.

**P.4.** Las propuestas existentes se centran en el estudio del problema dejando de lado la representación del mismo. En particular, las propuestas carecen de un lenguaje adecuado para modelar el problema. O bien se limitan a proponer formularios y plantillas sin establecer una sintaxis precisa, o bien recurren a lenguajes de modelado con una sintaxis rigurosa pero escasamente intuitivos para profanos en la materia.

**P.5.** Las propuestas existentes presentan limitaciones desde el punto de vista de la consistencia y rigurosidad de su formulación. La mayoría de las propuestas fueron concebidas más como guías o modelos de desarrollo que como métodos de análisis, lo que influye negativamente en la sistematización del proceso de análisis.

# Capítulo 4

## Definición de la solución

*”De pronto, todo pareció muy simple, elementalmente sencillo. Frederic se detuvo y hasta profirió una exclamación, sorprendido por no haber sido capaz de averiguarlo antes. Llegó tambaleante a la linde del bosque y allí se detuvo, todavía maravillado de su descubrimiento, enflaquecido y febril, desfigurado y cubierto de barro, con el cabello revuelto y los ojos brillándole como brasas.”*

**El húsar**

Arturo Pérez Reverte

La fase de determinación del problema, plasmada en los capítulos de estado de la cuestión y planteamiento del problema, constata las siguientes realidades:

- La fase de análisis es una etapa primordial del proceso de desarrollo de software para la instrucción y, en consecuencia, uno de los factores principales de la calidad del producto final.
- Las aproximaciones existentes presentan carencias que limitan la utilidad y eficacia del proceso de análisis, dificultando la sistematización del proceso de desarrollo.

A fin de superar estas limitaciones, el presente capítulo expone la solución propuesta: la definición de un método de análisis basado en la aplicación de la ingeniería de dominos al campo de la enseñanza asistida por ordenador.

## 4.1. La propuesta de solución

La definición de la solución se inicia con la descripción general de sus principios y cualidades. En primer lugar, tomando como base la información recogida en los capítulos previos, se enunciarán los fundamentos sobre los cuales se asienta la propuesta de solución. A continuación, se recogen una serie de definiciones que fijan con claridad algunos conceptos esenciales de la solución. Finalmente, y a modo de introducción, se presentará el método ComBLA.

### 4.1.1. Los fundamentos de la solución

La definición de la solución se basa en la elaboración de una serie de hipótesis de trabajo. A partir de estas hipótesis, se establecerá el alcance de la solución, concretando sus características más relevantes. Así mismo, se realizará una revisión de los perfiles implicados en el proceso de análisis a fin de establecer los distintos participantes en la solución.

#### Las hipótesis de trabajo

Las hipótesis de trabajo se establecen provisionalmente como base para la elaboración de una propuesta de solución. En el caso del presente trabajo de investigación, las hipótesis de trabajo se sustentan sobre dos realidades identificadas durante el estudio del contexto del problema:

- La aplicación de los principios y técnicas de la ingeniería del software contribuye a mejorar el proceso de desarrollo de sistemas software para la instrucción [70, 71, 122].
- La aplicación del análisis de dominios contribuye a identificar patrones comunes que mejoren la comunicación entre participantes, aumenten la reutilización de componentes y reduzcan la relevancia de la experiencia en el proceso de análisis [30, 58, 125].

Estas dos realidades llevaron a pensar en la aplicación de los principios del análisis de dominios al proceso de desarrollo de software para la instrucción como forma de



superar las limitaciones expuestas durante el planteamiento del problema. A partir de esta idea, se formularon las siguientes hipótesis de trabajo:

- **H.1.** El contexto de la enseñanza asistida por ordenador se puede considerar como un dominio estable en el cual es posible aplicar los preceptos del análisis de dominios.
- **H.2.** Es posible establecer un modelo de dominio basado en el modelado de características que permita representar el conocimiento intrínseco a un dominio instructivo.
- **H.3.** Es posible establecer un proceso de análisis sistemático que permita estudiar, recopilar y representar el conocimiento de un dominio instructivo.
- **H.4.** Es posible establecer un proceso de análisis que permita especificar las necesidades y condiciones de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador tomado como base el modelo de dominio.

Todos estas hipótesis han contribuido a respaldar el supuesto de partida, llevando a la definición del objetivo principal de esta tesis doctoral: la definición de un método de análisis de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador basado en la aplicación de la ingeniería de dominios al campo de la enseñanza asistida por ordenador. A continuación, se concretará las características de esta solución estableciendo una serie de enunciados que delimiten su alcance.

### **El alcance de la solución**

Una vez establecidas las hipótesis de trabajo y formulado el objetivo principal de la tesis doctoral, se establecerán una serie de requisitos que permiten delimitar el alcance de la solución. La solución propuesta se define por los siguientes enunciados:

- La solución se circunscribe a la fase inicial del proceso de desarrollo de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador. La solución tiene por objeto proporcionar una especificación de un problema instructivo asistido mediante un sistema informático, delegando en otras aproximaciones o modelos las sucesivas etapas del proceso de desarrollo.

- La solución se basa en la aplicación de los principios del análisis de dominios al campo de la enseñanza asistida por ordenador. El método se basa en el estudio de fuentes de información confiables como medio para la elaboración de un modelo que represente el conocimiento de un dominio instructivo.
- El método se ha concebido para facilitar el análisis de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador. Al contrario que otras propuestas, el método no ha surgido como una adaptación de modelos ISD al campo de la automatización de la instrucción; por el contrario, sugiere una forma de trabajo específica para el desarrollo de software para la instrucción.
- El método, alejado de las propuestas existentes, no aborda el análisis de cada sistema de manera independiente sino que toma como referencia los sistemas ya existentes en el dominio de utilización del mismo. El objetivo de esta forma de trabajar es facilitar la comunicación entre los participantes en el proceso de desarrollo y establecer las bases para una mayor reutilización de componentes.
- El adecuado análisis del problema pasa por disponer de mecanismos de representación del conocimiento que eviten confusiones, dudas o interpretaciones erróneas que lastren el futuro diseño y producción del sistema. El método proporciona artefactos que, a partir de cierto grado de formalización, permitan reducir la ambigüedad de la especificación realizada.
- El método debe alcanzar resultados parejos en contextos similares. La definición de los artefactos del método se realiza de manera consistente y rigurosa, a fin de garantizar su eficacia independientemente de los participantes en el proceso de análisis.
- Los artefactos proporcionados por el método podrán ser comprendidos por cualquier tipo de lector con una mínima explicación. A fin de satisfacer este requisito, se ha recurrido a un modelo de dominio basado en la elaboración de diagramas de características. El diagrama de características es una herramienta intuitiva [35, 99], fácilmente comprensible por individuos sin experiencia en el desarrollo de sistemas de información.

## Los participantes en el proceso de análisis

El último aspecto a considerar tiene que ver con la definición de los perfiles que intervienen en el proceso de análisis. Basándose en los tipos de participantes identificados en el capítulo de planteamiento del problema, el análisis de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador recae en los siguientes grupos:

- Diseñador instructivo. Individuo encargado de definir el proceso de aprendizaje que será satisfecho por el sistema. El diseñador instructivo se encarga de estructurar contenidos y actividades instructivas de manera que se puedan alcanzar unos determinados objetivos educativos. Puesto que el diseñador instructivo condiciona el tipo de sistema a desarrollar debe tratarse como una fuente de información.
- Analista de sistema. Persona encargada de estudiar el proceso de aprendizaje y las cualidades del sistema software que lo asiste a fin de establecer con precisión la funcionalidad, comportamiento y forma de utilización de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador. Puesto que es responsable de la definición del sistema, actúa como un productor de información.
- Profesor. Individuo encargado de fijar las necesidades instructivas satisfechas por el sistema. El profesor desempeña la función de experto encargado de establecer el tipo de contenidos a transmitir. El profesor actúa como la principal fuente de información del proceso, siendo responsable tanto de fijar las condiciones de uso del sistema como el tipo de conocimiento a tratar.
- Alumno. Destinatario último del proceso de aprendizaje. Usuario final del sistema que ejecuta una serie de actividades instructivas con el objetivo de adquirir determinadas competencias. La actividad pasiva del alumno en el proceso de análisis lo convierte en un mero consumidor de información.
- Tutor. Usuario final encargado del seguimiento del proceso de aprendizaje de uno o varios alumnos. Desde el punto de vista del análisis del sistema, el tutor actúa como mero consumidor de información.

Los perfiles identificados se corresponden, con pequeñas diferencias, a los grupos de participantes habituales en el proceso de análisis de dominios. Los mismos, tal y como se recoge en la figura 4.1, se clasifican en los siguientes perfiles:

- Usuario final. Cualquier persona o aplicación que opera con el sistema a fin de ejecutar una tarea. De acuerdo con esta definición, y centrándonos en el desarrollo de la enseñanza asistida por ordenador, el usuario final se corresponde con alumnos, tutores y profesores.
- Experto del dominio. Individuo encargado de suministrar información sobre las características de los sistemas del dominio. En el caso que nos ocupa, se corresponderá con diseñadores instructivos, docentes y expertos en la materia a transmitir. Los expertos del dominio actúan como fuentes de información confiables para la elaboración de un modelo del dominio instructivo.
- Analista del dominio. Persona encargada de identificar las fuentes de información y recopilar el conocimiento intrínseco al dominio a fin de elaborar un modelo que represente dicho conocimiento.
- Analista de requisitos. Persona encargada de especificar las necesidades y condiciones de un sistema software a fin de asistir adecuadamente el proceso de negocio. El analista de requisitos toma como referencia el modelo de dominio elaborado por el analista del dominio y los requisitos definidos por el usuario final.
- Diseñador. Persona encargada de realizar el diseño software del sistema a desarrollar. El diseñador realiza un modelo a bajo nivel del sistema que respeta o satisface la definición realizada por el analista de requisitos. En el caso de la enseñanza asistida por ordenador, el diseñador se encarga de especificar el tipo de componentes del sistema, su forma de interacción y modo de trabajo.

La asociación realizada entre los perfiles habituales en el análisis de dominios y los grupos de participantes identificados en el desarrollo de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador, ver figura 4.2 cimienta la idoneidad del análisis de dominios como paradigma de análisis aplicable a la enseñanza asistida por ordenador.

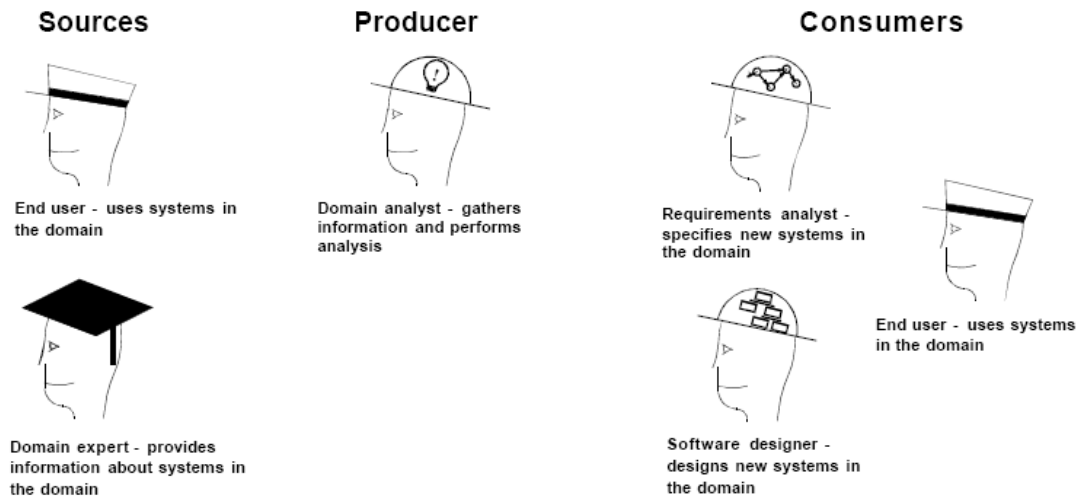


Figura 4.1: Participantes en el proceso de análisis de dominios

[99]

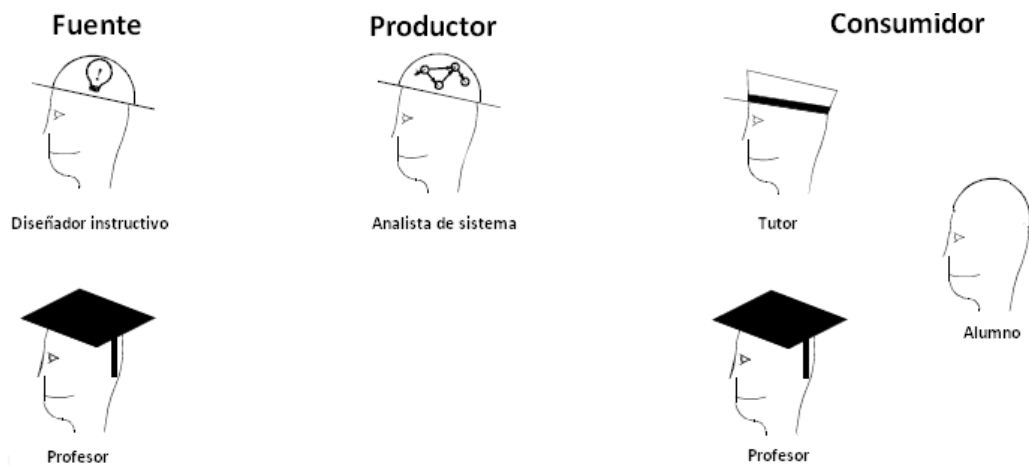


Figura 4.2: Participantes en el proceso de análisis de un sistema de aprendizaje

### 4.1.2. El glosario de conceptos

El glosario de conceptos recopila la definición de una serie de conceptos relacionados con el contexto de aplicación del trabajo. El glosario permite aclarar términos confusos, originales o sobre los cuales no existe una definición consensuada o generalmente aceptada. Junto a la definición, en aquellos casos que se expongan conceptos originales, se realizará una explicación detallada del concepto, exponiendo el sentido del término y su cometido en la solución propuesta. Los conceptos recopilados no se exponen ordenados lexicográficamente sino de acuerdo a su significación para el entendimiento de la solución propuesta.

### Sistema de aprendizaje asistido por ordenador

La solución propuesta se define como un método para el análisis de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador. Dado que no existen definiciones consensuadas sobre el concepto de sistema de aprendizaje asistido por ordenador, y a fin de concretar el sentido y relevancia de la solución propuesta, se establecen las siguientes definiciones de *sistema para el aprendizaje* y *sistema de aprendizaje asistido por ordenador*:

**Definición 1.** *Sistema para el aprendizaje. Colección de contenidos y actividades formativas estructurados de manera que se pueden alcanzar un conjunto de objetivos educativos. Un sistema para el aprendizaje únicamente puede ser empleado en un contexto educativo específico y de acuerdo a una forma de instrucción determinada.*

**Definición 2.** *Sistema de aprendizaje asistido por ordenador. Conjunto de programas y recursos informáticos que soportan un sistema para el aprendizaje concebido para su utilización telemática.*

De acuerdo con las definiciones expuestas, un sistema de aprendizaje asistido por ordenador hace referencia a una herramienta software concebida para gestionar y asistir el proceso instructivo. No se trata, por tanto, de un recurso más utilizado durante el proceso de aprendizaje sino un elemento esencial de la labor educativa. Un sistema de aprendizaje asistido por ordenador permite alcanzar unos objetivos educativos concretos en un contexto instructivo determinado.

## Análisis de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador

El análisis se entiende como la labor de estudio encaminada a especificar una realidad. El análisis implica, por un lado, la comprensión de la naturaleza y motivaciones del suceso estudiado; por otro, la utilización de una notación adecuada que permita representar con certeza las características de la realidad considerada. Por tanto, y centrándonos en el contexto de la enseñanza asistida por ordenador, el análisis de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador se define como:

**Definición 3.** *Análisis. Fase inicial del proceso de desarrollo de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador, encargada de establecer: (1) El alcance, características y condiciones de un problema instructivo; y (2) Las características tanto de funcionamiento como de utilización del sistema software que lo asiste. El resultado de la fase de análisis debe ser una representación del problema, lo suficientemente precisa y consistente, que permita el posterior diseño, implementación y despliegue de un sistema software que asista el proceso instructivo.*

La definición establece el propósito del análisis de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador. De acuerdo con esta definición, y tal y como se recoge en el capítulo de estado de la cuestión, el análisis de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador es una actividad intelectual caracterizada por una triple labor:

- Análisis resolutivo. El análisis especifica el conjunto de factores que condicionan la naturaleza del sistema: funcionalidad, comportamiento esperado, estructura, condiciones de utilización, etc.
- Análisis regresivo. El análisis de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador requiere conocer el problema instructivo que motiva el desarrollo del sistema software.
- Análisis interpretativo. Se propondrá una notación específica para la especificación de las necesidades y condiciones del sistema.

Un método de análisis únicamente se puede considerar correcto desde el punto de vista de sus cualidades intrínsecas si presenta la triple concepción del análisis. En caso contrario, el método puede resultar útil para la labor planteada pero sin asegurar la validez de los resultados obtenidos.

### **Dominio instructivo**

La capacidad del análisis de dominios para mejorar la labor de análisis en contextos estables ha llevado a su utilización como base de la propuesta de solución. No obstante, y antes de profundizar en la forma de trabajo del método, es necesario tratar dos factores que caracterizan a un dominio estable y que, por tanto, condicionan la aplicación del análisis de dominios al campo de la enseñanza asistida por ordenador:

- La posibilidad de establecer una definición de dominio instructivo que permita identificar y delimitar cualquier dominio instructivo.
- La existencia de fuentes de información confiables que permitan establecer el conocimiento intrínseco al dominio instructivo a fin de elaborar un modelo de dominio.

El primer punto a determinar es qué se considera como dominio y cuál debe ser el alcance del mismo. En particular, se propone definir un dominio instructivo como:

**Definición 4.** *Dominio instructivo. El conjunto de escenarios educativos que comparten unos contenidos, un entorno de trabajo, así como unos objetivos pedagógicos y una forma específica de instrucción.*

La definición propuesta sigue la tendencia habitual de la metodología de análisis de dominios: el concepto de dominio se relaciona con el tipo de problema a resolver; es decir, el dominio aglutina al conjunto de sistemas que satisfacen una funcionalidad común [56]. En el caso de la instrucción, la funcionalidad a resolver se corresponde con la sistematización del proceso de aprendizaje [146]; por lo tanto, se considerarán dentro del mismo dominio el conjunto de sistemas para la instrucción que implementan un proceso de aprendizaje similar. De acuerdo con las enseñanzas del diseño de la instrucción, ver sección 2.2, el proceso de aprendizaje está condicionado por los contenidos a impartir, por los objetivos pedagógicos a satisfacer, y por el contexto educativo y el entorno de trabajo de los distintos sistemas. A estos factores es necesario añadir la forma de instrucción como elemento encargado de organizar las actividades que conforman el sistema para la instrucción.



Uno de los aspectos más conflictivos al aplicar el análisis de dominios tiene que ver con la delimitación del dominio. La metodología sobre análisis de dominios ofrece una serie de indicaciones sobre la forma de establecer el alcance de un dominio; sin embargo, no es posible recopilar reglas inequívocas que determinen de manera precisa, y en todos los contextos, el alcance de un dominio [99]. En el presente trabajo, el factor esencial para delimitar el alcance de dominio será la disciplina a impartir. Ejemplos de disciplinas serían la *programación de computadores*, la *física molecular* o la *teoría del derecho*. La naturaleza de la disciplina determina los contenidos a transmitir, el tipo de actividades de instrucción y el modo de instrucción más adecuado. Por ejemplo, la programación de computadores, se caracteriza por formas de instrucción basadas en los principios del paradigma constructivista. El resultado obtenido será un dominio instructivo, conocido como *el aprendizaje y la enseñanza de la programación de computadores*, caracterizado por instruir en la programación de computadores mediante escenarios educativos que reproduzcan problemas o situaciones del mundo real. La definición de un catálogo completo y riguroso de dominios instructivos trasciende los objetivos de esta tesis doctoral; sin embargo, como alternativa a dicha taxonomía, es posible proponer como referencia diversos catálogos bibliográficos sobre disciplinas (por ejemplo, *Computing Classification System*, *Mathematics Subject Classification* o *Physics and Astronomy Classification Scheme*) existentes en distintas áreas de conocimiento. Estos catálogos pueden servir para delimitar, en un primer momento, la disciplina de interés como paso previo a la delimitación del dominio en base al estudio de los distintos paradigmas instructivos y formas de instrucción aplicables a la disciplina.

El segundo factor a considerar tiene que ver con la restricción del análisis de dominios por la cual esta forma de trabajo únicamente puede aplicarse en contextos estables, con fuentes de información lo suficientemente precisas como para establecer un modelo de conocimiento válido. En caso de no poder satisfacerse este requisito, de carecer de un dominio estable, no será posible elaborar un modelo de dominio que represente el conocimiento del contexto y, por ende, invalidará la hipótesis de utilizar el análisis de dominios como mecanismo de análisis. La mención a un contexto estable no hace referencia a la existencia de un dominio inmutable, con un conocimiento invariable, sino a la posibilidad de identificar fuentes de conocimiento confiables, que permitan recopilar un conocimiento certero del dominio.

En lo que respecta a la especificación de un dominio instructivo, la aplicación del análisis de dominios vendrá condicionada por la existencia de fuentes de información confiables. A la hora de realizar el estudio de un dominio instructivo la principal fuente de conocimiento la constituye la disciplina del diseño de la instrucción y sus enseñanzas sobre la manera de mejorar el aprendizaje. En concreto, y tomando como ejemplo los antecedentes de *IMS Learning Design* [106], es posible establecer tres fuentes de información primordiales:

- Teorías del diseño de la instrucción. Las teorías sobre diseño de la instrucción ofrecen un conocimiento formalizado sobre el método de aprendizaje más adecuado según el tipo de enseñanza, los objetivos o las condiciones de aprendizaje.
- Buenas prácticas. Muestran ejemplos prácticos de aplicación de un método de aprendizaje en un curso o contexto específico. Se pueden considerar como arquetipos o paradigmas de instrucción.
- Patrones de buenas prácticas. Basado en el estudio de los patrones existentes a fin de determinar la forma de aprendizaje más adecuada al contexto educativo. Se pueden considerar como modelos de instrucción.

En todos estos casos nos referimos a un conocimiento certero, resultado de la labor de investigación sobre el proceso instructivo. Al mismo tiempo, es posible obtener un conocimiento adicional de fuentes menos formales pero no por ello menos confiables. En concreto, se pueden considerar como elementos de estudio: (1) Docentes y expertos en el dominio instructivo; y (2) Cursos, materiales y sistemas instructivos ya desarrollados. La suma de todas estas fuentes de información, con sus limitaciones y restricciones, conforma un corpus lo suficientemente amplio, ordenado y certero como para considerar la existencia de fuentes de información suficientemente confiables para el estudio de un dominio instructivo. La tabla 4.1 muestra de manera resumida las distintas fuentes de conocimiento existentes recopilando las ventajas e inconvenientes de las mismas. La existencia de fuentes de información confiables y de criterios fijos para la delimitación de un dominio instructivo, permite considerar el análisis de dominios como una herramienta aplicable al contexto de la enseñanza asistida por ordenador.

## Teorías del diseño de la instrucción

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fuentes de conocimiento precisa y certera</li> <li>- Fuente de información ideal para estudiar la forma de instrucción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Existen pocas teorías referidas a la automatización de la instrucción</li> </ul>

## Buenas prácticas

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permite identificar facetas de interés sobre los distintos aspectos presentes en el proceso instructivo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El conocimiento identificado puede ser muy específico del curso o contexto de aplicación</li> </ul>

## Patrones de buenas prácticas

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fuente de conocimiento estructurada y fácilmente aplicable</li> <li>- Ofrece un conocimiento contextualizado sobre el proceso instructivo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No siempre es posible recurrir a patrones aplicables en el dominio considerado</li> <li>- Existen pocos patrones sobre la automatización de la instrucción</li> </ul>

## Docentes y expertos del dominio

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proporcionan un conocimiento preciso sobre el dominio instructivo</li> <li>- Pueden actuar como evaluadores o revisores del resultado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El conocimiento de los expertos puede ser muy focalizado</li> <li>- Se requieren expertos tanto en contenidos, formas de instrucción, recursos, etc.</li> </ul>

## Sistemas para la instrucción

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Facilita la definición del alcance del dominio instructivo</li> <li>- Muy adecuado para identificar los distintos perfiles de alumno</li> <li>- Fuente de información ideal para analizar la forma de implementación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coste de análisis elevado en tiempo y recursos</li> <li>- Un sistema se concibe para un contexto educativo concreto. Dificil extrapolación</li> </ul>

Tabla 4.1: Fuentes de información de un dominio instructivo

### Modelo de características

La definición de un modelo de dominio requiere de mecanismos específicos que permitan representar de forma adecuada el conocimiento intrínseco a un dominio. La literatura sobre análisis de dominios ofrece distintas alternativas para la definición de modelos de dominios, como pueden ser la utilización de ontologías, la definición de lenguajes específicos de dominio o la elaboración de modelos de características. La solución propuesta se basa en la definición de modelos de característica como forma de obtener el modelo de dominio de un determinado dominio instructivo. Los siguientes apartados profundizan en el concepto de modelo de características, recogiendo su definición, presentando sus particularidades y explicando los factores que han llevado a su utilización.

El modelo de características permite identificar las propiedades significativas del dominio. El modelo de características debe abarcar tanto la representación de las propiedades del dominio, expresando sus relaciones y dependencias, como la recopilación de la semántica de dichas propiedades. En el presente trabajo, se define un modelo de características como:

**Definición 5.** *Modelo de características. Descripción de un dominio instructivo en base a: (1) Los conceptos del dominio; (2) Las características que describen a dichos conceptos; y (3) La relación existente entre los distintos conceptos y características. El modelo de características debe plasmar, en la medida de lo posible, las características comunes y variables de los conceptos del dominio.*

La definición propuesta recoge uno de los aspectos esenciales de los modelos de características: la capacidad de reflejar la variabilidad del dominio. Si un modelo de características únicamente plasma las propiedades comunes del dominio no estamos acometiendo un análisis del dominio, sino un mero análisis de características. El análisis de características es una herramienta útil para describir los conceptos del dominio pero no para definir la semántica del dominio en sí. Únicamente mediante la representación de la variabilidad es posible exponer alternativas, disponiendo de una herramienta útil para el posterior análisis de un sistema para el aprendizaje del dominio considerado.

El segundo aspecto a considerar hace referencia al parámetro de clasificación utilizado por los modelos de características para representar el conocimiento del dominio. Tal y como se recoge en la definición expuesta, un modelo de características describe el dominio en base a conceptos y características, entendiendo por tales:

**Definición 6.** *Concepto.* Cada una de las realidades que siendo relevantes desde el punto de vista del proceso de aprendizaje tienen sentido en el dominio instructivo considerado. Generalización de las actividades o entidades que intervienen en el proceso de desarrollo de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador.

**Definición 7.** *Característica.* Una cualidad distinguible de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador que es relevante desde el punto de vista del proceso de desarrollo. Una característica determina los atributos peculiares de un dominio instructivo, de modo que se distingue claramente de otros dominios instructivos.

Los conceptos tienen por objeto representar realidades significativas del dominio, mientras que las características reflejan cualidades o propiedades de dichas realidades. Los conceptos del dominio se concretan en instancias, con valores específicos de sus características, en cada uno de los sistemas que forman parte del dominio. Una ventaja significativa de los modelos de características es la flexibilidad de los parámetros de clasificación utilizados. Frente a otras alternativas ampliamente extendidas, como el modelado de procesos o el modelado de entidades, el conocimiento del dominio no se expresa en base a un único elemento de descomposición funcional, sino que se tienen en cuenta todas las posibles realidades presentes en el dominio. Los modelos de características son una herramienta especialmente adecuada para mejorar la reutilización [35]. Los elementos reutilizables se caracterizan por tratar propiedades comunes adaptándose a la variabilidad o especificidad de un problema. Dado que los diagramas de características permiten plasmar las propiedades comunes y variables del dominio, los diagramas de características son una herramienta esencial en la identificación de elementos reutilizables. Gracias a los modelos de características, al especificar un concepto es posible conocer qué propiedades pueden no haber sido consideradas, lastrando la reutilización del componente o material.

## Configuración del sistema

Aunque la principal aportación del método ComBLA es la aplicación del análisis de dominios al campo del diseño de la instrucción, el método no se limita a establecer las pautas para el estudio de un dominio instructivo. Una vez elaborado el modelo de dominio correspondiente, el método propone una serie de actividades que permiten especificar un sistema de aprendizaje asistido por ordenador perteneciente al dominio analizado. Entre las actividades específicas del proceso de análisis del sistema se encuentra «la configuración del sistema». En la solución elaborada, se entenderá como configuración las siguientes realidades:

**Definición 8.** *Configuración del dominio. Cada una de las combinaciones de características del dominio instructivo que, teniendo sentido en su conjunto, permiten resolver una serie de escenarios educativos de manera adecuada.*

**Definición 9.** *Configuración del sistema. Conjunto mínimo de características del dominio instructivo que conforma la definición esencial de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador. La configuración del sistema se corresponde con alguna de las posibles configuraciones del dominio.*

El modelo de dominio describe un dominio instructivo contemplando tanto la especificidad como la variabilidad del sistema; es decir, las distintas alternativas o combinaciones de características que pueden darse en los sistemas instructivos del dominio. Un sistema concreto del dominio instructivo se corresponderá con una de estas combinaciones de características. La actividad de configuración del sistema se encarga de seleccionar un conjunto de características del dominio, delimitando el problema específico a resolver y estableciendo la configuración básica del sistema a desarrollar. Dicha configuración debe corresponderse con alguna de las configuraciones del dominio, motivo por el cual es posible validar la definición del sistema contra el modelo del dominio instructivo. La configuración del sistema únicamente establece las características principales o fundamentales del sistema. A partir de la configuración del sistema se inicia la actividad de especificación que establece de manera precisa las necesidades y condiciones del sistema a desarrollar.

### 4.1.3. El método ComBLA

El método de análisis propuesto se denomina *Computer-Based Learning Analysis (ComBLA)*, como forma de expresar en el nombre el objetivo y sentido de la solución. Desde el punto de vista de su operativa, el método ComBLA se basa en la aplicación de la ingeniería de dominios al campo de la enseñanza asistida por ordenador. Así mismo, y tomando como referencia la revisión realizada en el estado de la cuestión, se aplicarán las enseñanzas extraídas de distintos modelos de desarrollo de la instrucción. La conjunción de estas dos formas de trabajo permite disponer de un método que complementa las enseñanzas del diseño de la instrucción sobre la forma de estudiar un problema instructivo, con las pautas y principios de la ingeniería de dominios sobre la definición de sistemas software. Los siguientes apartados presentan los componentes principales del método ComBLA, su modelo y proceso de análisis, y exponen los roles de los participantes en la aplicación del método.

#### La descripción de los roles

Los roles definidos en el método ComBLA presentan pequeñas variaciones sobre la estructura habitual del análisis de dominios, pero sin modificar su sentido. En particular, se eliminará la figura del «diseñador» por quedar fuera del alcance de la solución. De la misma manera, el «analista de dominio» y el «analista de requisitos» se unirán en un perfil denominado «analista». El analista será aquel individuo con formación en el método ComBLA encargado de analizar un sistema de aprendizaje asistido por ordenador. Según las circunstancias, el analista podrá ejercer la labor de analista del dominio, analista del sistema o ambos cometidos. Por último, se añadirá el perfil de «interesado» para diferenciarlo del «usuario final». El usuario final se corresponderá con el destinatario último del sistema a desarrollar cuyas características, especialmente en el caso del alumno, deben tomarse en consideración; sin embargo, el interesado se corresponderá con el individuo que fija las necesidades instructivas y condiciones de utilización del sistema. Normalmente, la figura del interesado será desempeñada por un profesor. En esta nueva estructura, el usuario final se corresponde con un individuo que actúa como un mero consumidor de información, mientras que el interesado adquiere la responsabilidad de suministrarla. La tabla 4.2 recoge la descripción de los distintos roles y su relación con los participantes en el proceso de análisis de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador.

Rol: Analista	
<b>Descripción</b>	Individuo con formación el método ComBLA encargada de recopilar información a fin de elaborar el modelo del dominio instructivo, o de utilizar dicho modelo al estudiar un sistema de aprendizaje asistido por ordenador.
<b>Participantes agrupados</b>	El analista de dominio y el analista de sistemas o requisitos
Rol: Interesado	
<b>Descripción</b>	Individuo que fija las necesidades instructivas y condiciones de utilización del sistema.
<b>Participantes agrupados</b>	Normalmente, el coordinador o profesor responsable del curso en el cual se empleará el sistema
Rol: Experto del dominio	
<b>Descripción</b>	Fuentes de información utilizadas para identificar las características del dominio instructivo en el cual se empleará el sistema
<b>Participantes agrupados</b>	Se tratarán como expertos del dominio los diseñadores instructivos, docentes expertos, expertos en contenidos, en tecnologías educativas o en el desarrollo de sistemas de aprendizaje asistidos por ordenador
Rol: Usuario final	
<b>Descripción</b>	Destinatario último del sistema a desarrollar
<b>Participantes agrupados</b>	Rol correspondiente a alumnos, profesores, tutores y, en general, cualquier usuario del sistema de aprendizaje desarrollado

Tabla 4.2: Descripción de los roles existentes en el método ComBLA



## El modelo de análisis

El modelo de análisis se corresponde con el componente del método ComBLA encargado de representar la información que interviene en el desarrollo de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador. Desde este punto de vista, el modelo de análisis satisface el carácter interpretativo del análisis, proporcionando una notación que permitan la adecuada especificación del problema. De acuerdo con la forma de trabajo seleccionada, y a fin de satisfacer los objetivos del trabajo, el modelo de análisis se centra en la definición de artefactos software que permitan la representación del conocimiento de un dominio instructivo. Este componente, denominado modelo de dominio, se complementa con un modelo de sistema que permite especificar las necesidades y condiciones del sistema a desarrollar. De manera resumida, el modelo de análisis del método ComBLA se divide en:

- Modelo de dominio. El objetivo del modelo de dominio es permitir la comprensión de un dominio instructivo. El modelo de dominio describe el contexto del problema a resolver, representando aquellos conceptos del dominio que condicionan el proceso de desarrollo.
- Modelo de sistema. El modelo de sistema permite especificar el problema concreto a resolver. El modelo de sistema ofrece tanto una visión externa del sistema a desarrollar como una descripción del contexto en el cual se realiza el proceso instructivo. El modelo de sistema recopila las necesidades de los interesados, representando la forma de trabajo del sistema desde distintas vistas o perspectivas.

El objetivo final del modelo de análisis es facilitar la comprensión del problema a resolver. Para ello, es imprescindible disponer de una notación comprensible por los distintos participantes en el proceso de análisis. En el caso del método ComBLA, el modelo de análisis se basará en el uso de diagramas de características y diagramas de caso de uso, artefactos ambos distinguidos por su carácter intuitivo y fácil comprensión por individuos sin experiencia en el desarrollo de sistemas software. La tabla 4.3 muestra, de manera esquemática, el contenido del modelo de análisis propuesto por el método ComBLA. La explicación detallada de cada uno de estos productos, sus objetivos y estructura, se expone en la sección 4.2.

## El modelo de dominio

---

### **El modelo de conceptos**

Responsable de recopilar y representar los conceptos significativos del dominio instructivo. Ofrece una visión a alto nivel de los distintos aspectos que conforman el dominio. Formado por el diccionario del dominio y el diagrama de conceptos

---

### **El modelo de características**

Responsable de representar la semántica del dominio instructivo en base a sus características. Las características se representan agrupadas en facetas de interés. El modelo de características está formado por el diagrama de características y las reglas de negocio

---

## El modelo de sistema

---

### **El modelo contextual**

El modelo contextual plasma aquellas condiciones externas al sistema que condicionan el proceso instructivo y la forma de utilización de la aplicación. Formado por el diagrama de contexto

---

### **El modelo estructural**

El modelo estructural plasma las propiedades y las relaciones de las entidades significativas que intervienen en el proceso instructivo soportado por el sistema. Definido mediante el diagrama de entidades

---

### **El modelo de comportamiento**

El modelo de comportamiento establece la respuesta del sistema ante una acción del usuario. El modelo de comportamiento representa el intercambio de información entre las distintas entidades que componen el sistema. Representado mediante el diagrama de secuencia

---

### **El modelo funcional**

El modelo funcional especifica la funcionalidad, el proceso instructivo, soportado por el sistema. Formando por el catálogo de casos de uso y el diagrama de actividades

---

Tabla 4.3: El modelo de análisis del método ComBLA

## El proceso de análisis

El proceso de análisis se corresponde con el componente del método ComBLA encargado de guiar la elaboración de los distintos modelos definidos. El proceso de análisis debe satisfacer el carácter regresivo y resolutivo del análisis: por un lado, debe disponer de actividades que permitan comprender el problema instructivo; por otro, debe ser capaz de especificar los distintos factores que intervienen en el desarrollo de un sistema software. Con el objetivo de asegurar la completitud de la solución, el proceso de análisis del método ComBLA aúna tareas habituales de los modelos de desarrollo de la instrucción (como la definición de objetivos educativos y características del alumno) con labores propias del análisis de sistemas software (como la definición del contexto de aplicación y el proceso de negocio a satisfacer).

De acuerdo con los principios de la ingeniería de dominios, el proceso de análisis se basa en el estudio de fuentes de información confiables a fin de elaborar un modelo de dominio que sirva de referencia durante el posterior análisis de sistemas concretos del dominio. Siguiendo esta línea de actuación, el proceso de análisis del método ComBLA se divide en dos etapas:

- El análisis del dominio. A partir de la definición de dominio instructivo, y tomando como base las fuentes de información establecidas, se identifica y clasifica el conocimiento intrínseco a un dominio instructivo.
- El análisis del sistema. El método proporciona una serie de tareas que, tomando como referencia el modelo de dominio previamente elaborado, permitirán sistematizar el estudio del sistema a desarrollar.

El propósito final del proceso de análisis es sistematizar la labor del estudio del problema. Para ello, es necesario definir con rigurosidad y minuciosidad las distintas actividades del método. Así mismo, es necesario garantizar la consistencia del proceso de análisis, asegurando la cohesión entre actividades, la ausencia de contradicción entre tareas y la correspondencia entre las tareas realizadas y los productos obtenidos. La tabla 4.4 recoge esquemáticamente el conjunto de labores ejecutadas en el proceso de análisis del método ComBLA. La explicación detallada de las actividades se acomete en la sección 4.3.

## El análisis del dominio

---

### **Establecer el dominio**

La identificación del dominio es la actividad inicial del proceso de análisis del método ComBLA. La actividad es responsable de establecer el ámbito o contexto instructivo de interés

---

### **Recopilar información**

Se revisan las fuentes de información de referencia, estableciendo su adecuación para el dominio instructivo considerado

---

### **Identificar aspectos de interés**

Se identifican los distintos aspectos de interés del dominio. La identificación se realizará de manera progresiva respetando la secuencia de tareas definida por el método

---

### **Representar aspectos de interés**

Se utiliza la notación definida para representar los aspectos de interés del dominio. El objetivo final es la especificación del conocimiento intrínseco al dominio instructivo

---

## El análisis del sistema

---

### **Definir el alcance del sistema**

Se delimita el escenario educativo y se determinan las condiciones de utilización del sistema

---

### **Identificar el dominio**

Se revisan los objetivos educativos y las condiciones instructivas que originaron el proceso de análisis a fin de poder identificar tanto la disciplina implicada como la forma de instrucción aplicada

---

### **Establecer la configuración del sistema**

Se establece el conjunto mínimo de características que definen al sistema. La actividad de configuración del sistema contempla tareas dirigidas a establecer las condiciones del proceso instructivo y el sistema software que lo asistirá

---

### **Definir el sistema**

Se especifican las necesidades y condiciones del sistema desde diversos puntos de vista. Se elabora el modelo contextual, estructural, funcional y de comportamiento del sistema

---

Tabla 4.4: El proceso de análisis del método ComBLA

## 4.2. El modelo de análisis

El modelo de análisis hace referencia al producto obtenido tras el estudio y interpretación de la información recopilada sobre un determinado problema. El conocimiento representado en el modelo de análisis, y la forma de representación de dicho conocimiento, condiciona en gran medida la utilidad de un método de análisis. Desde el punto de vista de la representación de la información, un método de análisis se caracteriza por [48]:

- *Un método de análisis debe contemplar la especificación de todos aquellos factores que determinan tanto el comportamiento como la funcionalidad del producto software.*

El modelo de análisis debe establecer las necesidades y condiciones de un sistema software desde diversos puntos de vista o perspectivas.

- *Un método de análisis debe contemplar la especificación del proceso de negocio que determina y condiciona el desarrollo del producto software.*

El modelo de análisis debe permitir especificar las causas del problema que motiva, el desarrollo del sistema, representando el conocimiento de todas aquellas facetas que intervienen en el problema.

- *Un método de análisis permite abstraer la realidad, especificando únicamente la información relevante para la comprensión del problema.*

La correcta elección del modelo de análisis condiciona, en gran medida, la utilidad de la especificación realizada: una representación del conocimiento inadecuada obvia detalles esenciales de la realidad, destacando otros menos significativos.

La relevancia de estos factores justifica el estudio pormenorizado de los mecanismos de representación del conocimiento utilizados por el modelo de análisis del método ComBLA. El estudio se inicia con una justificación del modelo de análisis definido, pormenorizando el concepto de representación del conocimiento y rebatiendo posibles alternativas, para continuar con la explicación de los mecanismos propuestos desde dos puntos de vista: la especificación del modelo de dominio y la definición del modelo de sistema.

### 4.2.1. La representación del problema

El carácter interpretativo del análisis hace referencia a la necesidad de transformar o cambiar la forma de representación de la realidad a fin de facilitar su estudio y comprensión. La correcta elección de la forma de representación de la realidad influye en gran medida en la calidad y utilidad del método de análisis definido. Este principio general de la actividad de análisis puede aplicarse de manera directa al desarrollo de sistemas informáticos, independientemente del propósito de los mismos. La elección de un modelo de análisis debe adecuarse al cumplimiento de una serie de restricciones [124]:

- El formato de representación debe ser relevante para el problema. El lenguaje, notación y simbología utilizada debe adaptarse al contexto.
- La información debe representarse en sucesivos niveles de abstracción, permitiendo el tratamiento progresivo de la misma. No toda la información del problema debe representarse con el mismo nivel de detalle, estando su grado de abstracción supeditado a la complejidad de la misma y su relevancia para la comprensión del problema.
- El uso de diagramas debe ser restringido y adecuado al objetivo. El empleo de numerosos diagramas lleva a la inconsistencia y degradación de la especificación, pudiendo originar confusión.
- La representación debe ser revisable. El contenido de la especificación puede cambiar en el tiempo, siendo necesaria la trazabilidad y seguimiento de los cambios.

Como se deduce de estas pautas, no existen mecanismos de representación del conocimiento estándares o genéricos, dependiendo su validez del tipo de problema o la naturaleza de los interlocutores. Un modelo de análisis basado en la mera narrativa del problema puede provocar la inconsistencia, ambigüedad y falta de completitud de la especificación realizada. En lado opuesto, un modelo de análisis excesivamente formal o basado en diagramas con un elevado grado de abstracción puede dificultar su comprensión por determinados participantes en el proceso de análisis.

## El producto del análisis

El resultado final del análisis debe ser una especificación de un problema lo suficientemente completa como para abordar de manera certera las sucesivas etapas del desarrollo. La labor de análisis permitirá obtener un producto software que defina todas aquellas condiciones y restricciones que determinan el desarrollo de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador. Al referirnos al desarrollo de sistemas informáticos el producto obtenido en las distintas etapas del desarrollo está íntimamente ligado con la noción de artefacto software, entendiendo por artefacto software:

*"The specification of a physical piece of information that is used or produced by a software development process, such as an external document or a work product, or by the deployment and operation of a system. An artifact can be a model, a description, or a diagram."*

*"An artifact corresponds to a concrete real-world element. An artifact may contain other artifacts."*

J. Rumbaugh et al. [136]

Un artefacto software es cualquier producto software que representa de manera estructurada la información referida al sistema que se desea desarrollar. En el caso de la fase de análisis, la especificación del problema se corresponderá con un artefacto software que representa las necesidades y condiciones del sistema que se desea desarrollar. El producto del análisis puede corresponderse con artefactos escasamente normalizados, como un documento de especificación, o con artefactos formalizados que respetan una sintaxis específica, como son los diagramas o los lenguajes formales de especificación. En particular, una de las actividades más habituales asociadas a la labor de especificación de sistemas de información es la creación de modelos. Un modelo es un artefacto software que simplifica la realidad, descartando detalles irrelevantes y representando únicamente aspectos esenciales del problema. La elaboración de modelos facilita el estudio, la comprensión y el tratamiento de realidades complejas. A continuación, se describirá brevemente el modelo de análisis propuesto por el método ComBLA.

El modelo de análisis del método ComBLA pretende plasmar todas las perspectivas que intervienen en el desarrollo de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador, proporcionando una herramienta útil para los distintos participantes en el proceso de desarrollo (ver sección 3.2.1 del capítulo de planteamiento del problema). Para ello, el modelo de análisis debe reflejar los aspectos instructivos y aquellos referidos al sistema software que asiste al proceso instructivo:

- Aspectos instructivos. El modelo refleja aquella información que condiciona el proceso instructivo. El modelo debe recoger los objetivos, actividades y participantes que determinan la forma de instrucción.
- Aspectos del sistema software. El modelo plasma mediante distintos artefactos el comportamiento del sistema software que asiste el proceso instructivo, independientemente de la forma en la cual se desarrolla la instrucción.

Un modelo de análisis, como artefacto software, puede estar formado a su vez por otros artefactos. En el caso del método ComBLA, el modelo de análisis se divide en dos modelos que representan las siguientes realidades:

- Modelo de dominio. El objetivo del modelo de dominio es permitir la comprensión de un dominio instructivo. El modelo de dominio describe el contexto del problema a resolver, representando aquellos conceptos del dominio que condicionan el proceso de desarrollo.
- Modelo de sistema. El modelo de sistema permite especificar el problema concreto a resolver. El modelo de sistema ofrece tanto una visión externa del sistema a desarrollar como una descripción del contexto en el cual se realiza el proceso instructivo. El modelo de sistema recopila las necesidades de los interesados, representando la forma de trabajo del sistema desde distintas vistas o perspectivas.

La división del modelo de análisis en dos modelos que representen realidades distintas pero relacionadas entre sí pretende mejorar la especificación del problema. La representación del conocimiento del dominio instructivo como paso previo al estudio del sistema permite identificar una serie de pautas y características comunes que guíen el posterior modelado de un sistema específico.



### Las alternativas a la solución propuesta

Tan importante como la exposición de la solución es la justificación de su prece-  
dencia frente a otras opciones disponibles. Para ello, tomando como base las premisas  
establecidas en el capítulo de planteamiento del problema, se estudiarán posibles al-  
ternativas a la solución. El estudio de alternativas permite comprobar las cualidades  
de la solución propuesta e identificar posibles limitaciones, facilitando la corrección  
de las mismas o la búsqueda de mejoras. Al plantear la necesidad de la definición  
de un método específico para el análisis de sistemas de aprendizaje asistido por  
computador se establecieron dos premisas esenciales desde el punto de vista de la  
representación del conocimiento:

- *Representación de la especificidad. El método de análisis debe disponer de mecanismos que permitan representar el conocimiento común a los sistemas de un determinado dominio de aplicación.*

Como se ha expuesto en secciones anteriores, la definición de un modelo  
de dominio mejora el estudio y especificación del proceso de negocio,  
facilitando la comunicación con los interesados y fomentando la reutili-  
zación de materiales. En el caso del método ComBLA la definición del  
modelo de dominio se basará en el uso de modelos de características.

- *Un lenguaje de modelado. El método de análisis debe proporcionar una notación adecuada que permita la especificación de las necesidades y condiciones del sistema a desarrollar.*

La especificación de un problema requiere una definición precisa y consis-  
tente de sus necesidades y condiciones. En el caso del método ComBLA,  
y teniendo en mente la necesidad de disponer de integrar el conocimiento  
de perfiles heterogéneos, la especificación del problema se realiza en base  
a diagramas y plantillas que respeten una sintaxis no formal.

De acuerdo con estos factores se han recopilado dos posibles alternativas que  
pueden mejorar la solución propuesta: (1) El empleo de ontologías como alterna-  
tiva al uso de modelos de características para la representación del conocimiento  
del dominio; (2) La utilización de lenguajes formales de especificación que garanti-  
cen la definición precisa del problema. Los lenguajes formales de especificación se  
presentarán como alternativa al uso de diagramas y sintaxis no formales.

### Modelado del dominio: El uso de ontologías

El concepto ontología proviene de la filosofía, donde hace referencia a la parte de la metafísica encargada del estudio del ser y la existencia. En el campo de las ciencias de la computación el término ontología ha evolucionado desde su significado etimológico a un vocablo técnico que define un artefacto diseñado con el propósito de representar un determinado conocimiento. Una ontología se define como:

*"An ontology is an explicit specification of a conceptualization."*

T. Gruber [80]

*"In the context of computer and information sciences, an ontology defines a set of representational primitives with which to model a domain of knowledge or discourse. The definitions of the representational primitives include information about their meaning and constraints on their logically consistent application."*

T. Gruber [81]

La utilización de ontologías como mecanismo para la representación del conocimiento de un dominio, real o imaginario, es una práctica habitual en el campo de las ciencias de la computación. Una ontología representa la semántica de los conceptos de un dominio y las relaciones existentes entre los mismos, utilizando un lenguaje que posibilite cierto grado de normalización y abstracción. Desde el punto de vista de su propósito, las *ontologías* y los *modelos de características* pueden concebirse como artefactos intercambiables: ambos permiten representar el conocimiento de un dominio específico de manera coherente y ampliable.

Una vez expuesto el concepto de ontología, y su similitud con los modelos de características, es necesario recopilar los factores que condicionan la elección de una u otra alternativa. Estos factores se agruparán en tres facetas: (1) El tipo de notación empleada por el artefacto para describir la realidad; (2) Los criterios de diseño que condicionan el proceso de elaboración de los artefactos; (3) La filosofía de modelado propuesta por ambas alternativas.

El primer punto a tratar tiene que ver con la notación utilizada tanto por las ontologías como por los modelos de características. La notación hace referencia al conjunto de mecanismos o medios de representación del conocimiento utilizados para expresar conceptos. La notación empleada es un factor fundamental a la hora de determinar la capacidad descriptiva de un artefacto. Una ontología está concebida para definir el conocimiento de un dominio de manera coherente y exacta; en consecuencia, la notación utilizada por una ontología debe permitir representar las entidades y relaciones del dominio sin ambigüedad, inconsistencia o duda. Una ontología utiliza un lenguaje descriptivo, habitualmente basado en lógica de primer orden o cálculo de predicados. Por el contrario, un modelo de características presenta una notación más laxa, centrada en determinar los aspectos comunes y variables de un dominio de aplicación [99], pero con un grado de precisión menor que una ontología. Los modelos de características describen el conocimiento utilizando una jerarquía de características relacionadas mediante sentencias en lógica proposicional [9]. Adicionalmente, como un añadido al concepto original de modelos de características, se han diseñado una serie de mecanismos que permiten ampliar su notación, mejorando la capacidad descriptiva [36]:

- Atributos. Un atributo define una propiedad de una característica del modelo. Se considera como atributo un tipo básico, un número entero o una cadena de caracteres. Los atributos permiten modelar tanto aspectos funcionales como no funcionales del dominio.
- Clonado. El clonado puede entenderse como la cardinalidad del modelo de características. El clonado permite especificar el número de situaciones en las cuales la característica tiene relevancia.
- Atributos referenciados. Un atributo referenciado es un atributo apuntado por otro atributo del modelo de características. Los atributos referenciados únicamente tienen sentido si se utiliza el mecanismo de clonado.

A pesar de estas extensiones, una ontología es un mecanismo de representación del conocimiento mucho más rico que un modelo de características [37]. A la hora de optar por una ontología o por un modelo de características es imprescindible considerar esta limitación: los modelos de características no son una herramienta concebida para la definición precisa de conceptos.

El segundo factor considerado hace referencia al proceso de creación del artefacto. Las ontologías y los modelos de características, como artefactos software, requieren de la formulación de una serie de criterios de diseño que guíen su elaboración. Con respecto a las ontologías, T. Gruber [80] estableció los siguientes criterios:

- Claridad. Una ontología debe explicar de manera efectiva el significado de los términos definidos. Para ello, la definición de los términos debe ser objetiva e independiente del contexto.
- Coherencia. Una ontología se considera coherente cuando de su definición se obtienen inferencias consistentes.
- Extensibilidad. La definición de la ontología debe ser tal que permita la definición de nuevos términos tomando como base los existentes.
- Independencia de la notación. La conceptualización propuesta por la ontología debe ser lo más independiente posible de la notación, de forma que el conocimiento pueda ser representado mediante otro lenguaje.
- Mínimo compromiso. La ontología debe representar el número mínimo de términos que permiten la definición del conocimiento del dominio.

De la misma manera, con respecto a la representación del conocimiento mediante características, es posible recopilar los siguientes criterios de diseño [99, 35]:

- Multidimensional. Un modelo de características debe contemplar todas las facetas o aspectos que intervienen en el problema, desde factores funcionales a operativos y tecnológicos.
- Abstracto. El modelo debe recoger características que influyen en la implementación, pero no debe describir detalles de implementación.
- Conciso. El modelo no describe todos los conceptos y relaciones del dominio, limitándose a aquellos que condicionan el desarrollo.

Al presentar mayores restricciones de diseño, una ontología se puede considerar como un artefacto más exacto y fiable que un modelo de características. Sin embargo, en el lado opuesto, una mayor exactitud conlleva una mayor dificultad en el diseño, lo que puede lastrar la utilidad del método de análisis basado en el artefacto.

El tercer factor analizado se refiere a la filosofía de modelado que impregna a cada uno de estos artefactos. Aunque con un mismo propósito, las ontologías y los modelos de características presentan diferencias en cuanto a la forma de trabajo y el alcance del modelo de conocimiento que proporcionan. En particular, las ontologías se emplean para definir conceptos generales, siendo su alcance mayor que el de los modelos de características [37]. Tomando como base esta afirmación, es posible establecer las siguientes pautas de decisión:

- Una ontología es una herramienta adecuada para definir el conocimiento de un dominio, fijando con exactitud y precisión los términos y relaciones del dominio. Por el contrario, los modelos de características se concibieron para describir un dominio de aplicaciones. Un modelo de características ofrece una definición imperfecta o imprecisa del dominio, dando una idea general de sus partes o propiedades.
- Los modelos de características describen conceptos de manera más específica que las ontologías. Los modelos de características se basan en un modelo de diseño de tipo *top-down*, añadiendo sucesivas características a los conceptos a fin de describirlos de manera más completa. Las ontologías suelen basarse en modelos de diseño del tipo *bottom-up*, lo que permite un alcance del modelo más amplio pero menos minucioso.
- Una ontología es un artefacto ideado para definir los conceptos de un dominio de conocimiento; por el contrario, un modelo de características es una herramienta adecuada para representar un espacio de conocimiento reducido, asociado a una funcionalidad o tipo de problema.

Un modelo de características proporciona una vista de una ontología [37]. La información suministrada por un modelo de características se puede considerar como un subconjunto de la información proporcionada por una o varias ontologías; sin embargo, este subconjunto de información presenta dos ventajas: (1) Se trata de información detallada; (2) La información refleja distintas perspectivas de un problema específico. Los modelos de características permiten representar el conocimiento imprescindible para comprender y especificar un problema, dejando de lado aquellos conceptos significativos desde el punto de vista de la definición del dominio pero irrelevantes para el desarrollo de un sistema.

Una vez establecidas las cualidades que distinguen a ambos artefactos se expondrán los criterios que han dirigido el proceso de selección. La tabla 4.5 resume el estudio realizado en base a tres factores principales: (1) Definición del problema. Capacidad para representar de manera completa y consistente el conocimiento de un dominio instructivo; (2) Reutilización. Tal y como se expuso en el capítulo de planteamiento del problema, la reutilización es una actividad esencial en el proceso de diseño de la instrucción y uno de las motivaciones esenciales que impulsaron el presente trabajo; y (3) Facilidad de uso. Se pretende alcanzar una solución que permita el análisis de sistemas de manera sencilla. La suma de estos factores, de las ventajas y desventajas de cada alternativa, ha justificado la elección de los modelos de características como artefacto para la definición del modelo de dominio. Los modelos de características proporcionan mecanismos adecuados y suficientes para la correcta descripción del conocimiento de un dominio; al mismo tiempo, es una herramienta especialmente útil para fomentar la reutilización [35]. Con respecto a la facilidad de uso, la definición de un modelo de características requiere cierta experiencia, pero su utilización es intuitiva y natural.

<b>Definición del problema</b>	Alternativas	
	Modelo características	Ontología dominio
Precisión	×	✓
Minuciosidad	✓	×
Compleitud	×	✓

<b>Reutilización</b>	Alternativas	
	Modelo características	Ontología dominio
Identifica variabilidad	✓	×
Acepta subjetividad	✓	×

<b>Facilidad de uso</b>	Alternativas	
	Modelo características	Ontología dominio
Elaboración sencilla	✓	×
Utilización intuitiva	✓	×

Tabla 4.5: Resumen de alternativas para el modelado del dominio

### Modelado del sistema: El uso de lenguajes formales

La completa eliminación de la ambigüedad y la vaguedad en la especificación del problema pasa por la utilización de métodos formales. Los métodos formales pueden aplicarse en cualquiera de las fases del proceso de desarrollo de sistemas de información, aunque han adquirido especial significación en las etapas de definición de requisitos y especificación del problema, teniendo una influencia decisiva sobre la utilidad y eficacia de las posteriores actividades de evaluación y mantenimiento del sistema [29]. Un método formal se define como:

*"A formal method in software development is a method that provides a formal language for describing a software artifact (e.g. specifications, designs, source code) such that formal proofs are possible, in principle, about properties of the artifact so expressed."*

R. Vienneau [151]

*"Formal methods used in developing computer systems are mathematically based techniques for describing system properties. Such formal methods provide frameworks within which people can specify, develop, and verify systems in a systematic, rather than ad hoc manner."*

*"A method is formal if it has a sound mathematical basis, typically given by a formal specification language. This basis provides a means of precisely defining notions like consistency and completeness, and more relevantly, specification, implementation and correctness."*

J.M. Wing [153]

Un método formal, puesto que se basa en lenguajes de especificación con una sintaxis formalizada, permite una descripción precisa y rigurosa de un sistema de información, facilitando mecanismos que permiten la verificación de la especificación realizada. Desde este punto de vista, un método formal proporciona las herramientas más apropiadas para la representación del conocimiento intrínseco al problema a resolver y, por ende, para la definición y comprensión del mismo.

El evidente valor de los métodos formales, y su relevancia como medio para la correcta definición del problema, no evita la existencia de carencias o restricciones de uso. Tal y como exponen distintos autores [110, 151], los métodos formales presentan limitaciones que lastran su utilidad. Estas limitaciones pueden clasificarse en:

- Referidas a la propia concepción del método. Los métodos formales presentan ciertas limitaciones inherentes a los mismos [151]. La más importante se resume en el aforismo: «*a partir de un conocimiento informal no se puede alcanzar una representación formal*». En particular, un método formal puede verificar que una implementación satisface una especificación formal de partida, pero no puede validar el sistema final obtenido.
- Referidas a la utilización del método. La propia naturaleza de los métodos formales origina dificultades de uso que lastran la eficacia de los mismos. Estas limitaciones, constatadas de manera práctica a lo largo de los años [110], hacen referencia tanto al carácter limitado de los recursos disponibles como a las carencias de conocimiento o destreza de los participantes en el proceso de desarrollo.

De entre las mismas, y con respecto a los objetivos de esta tesis, el segundo grupo, las referidas a la forma de utilización de los métodos formales, tiene una especial significación: tan importante como la calidad intrínseca del método definido es la facilidad de aprendizaje, utilización y aprovechamiento del mismo. Este hecho llevó a Bowan and Hinchley [21, 22] a la definición de “*los diez mandamientos de los métodos formales*”, que sintetizan las condiciones de utilización de dichos métodos. Entre estos enunciados se encuentran dos afirmaciones que han llevado a descartar el uso de un método formal: (1) Los métodos formales tienen un elevado coste de utilización; (2) El uso de un método formal requiere una larga etapa de formación previa y el trato habitual con expertos en el mismo.

Una vez se han sopesado las ventajas y desventajas aportadas por los métodos formales, se ha optado por la definición de una representación del conocimiento estructurada, basada en artefactos con cierto grado de formalismo. Este tipo de artefactos permiten reducir la ambigüedad o vaguedad de la definición del problema, sin lastrar la utilidad del método por curvas de aprendizaje elevadas o grandes necesidades de recursos.



### 4.2.2. El modelo de dominio

Un sistema software no es un recurso independiente ni aislado del medio que lo rodea; por el contrario, se trata de una herramienta concebida para trabajar en un determinado contexto. En esta situación, la elaboración de un modelo de dominio resulta especialmente adecuada para mejorar la labor de análisis:

- Delimita el tipo de sistema requerido. La primera labor de la fase de análisis es determinar el tipo de sistema que se desea desarrollar, delimitando su alcance y objetivo. El alcance del sistema viene condicionado por el ámbito de aplicación del mismo, por las operativas del dominio, y por todas aquellas reglas, normas o preceptos aplicables en el contexto.
- Identifica necesidades funcionales. La funcionalidad satisfecha por el sistema será un subconjunto del total de reglas y operaciones de negocio del dominio. El estudio del proceso de negocio permite determinar los requisitos funcionales del sistema a desarrollar.
- Detecta requisitos no funcionales. Los requerimientos no funcionales, tales como la seguridad, robustez, disponibilidad o rendimiento, prácticamente abarcan y envuelven al sistema completo. Normalmente, se trata de requerimientos genéricos que no se encuentran ligados a una funcionalidad específica sino al contexto de aplicación del sistema.
- Establece elementos reutilizables. La reutilización se basa en la utilización con fines similares de un componente o proceso ya empleado. La reutilización está ligada a la identificación de los aspectos comunes que comparten distintos sistemas. La definición de un modelo de dominio permite estudiar los sistemas del dominio de manera conjunta, facilitando el reconocimiento de elementos susceptibles de reutilización.

La definición de un modelo de dominio permite abstraer aquellos conceptos del contexto de la aplicación que condicionan el proceso de desarrollo, mejorando el proceso de análisis y fomentando la reutilización de recursos. Así mismo, la obtención de un modelo de dominio permite disponer de un vocabulario común que facilite la comunicación entre los participantes en el proceso de desarrollo.

El modelo de dominio de un sistema para la instrucción contempla el conjunto de factores que condicionan el proceso de instrucción. De acuerdo con la definición de Morrison, Ross & Kemp [117], el proceso de instrucción viene determinado por:

- **Estudiantes.** Características de los estudiantes a los cuales está dirigido el sistema para la instrucción. Las características de los estudiantes pueden abarcar desde aspectos generales (como su nivel educativo, experiencia o conocimientos previos) a una descripción detallada de su estilo de aprendizaje o el tipo de competencias que los caracterizan.
- **Objetivos.** Objetivos educativos que se pretenden alcanzar mediante el proceso de instrucción. Los objetivos se clasifican habitualmente en tres grupos: objetivos cognitivos, psicomotrices y afectivos.
- **Método.** El método hace referencia a la estrategia instructiva utilizada para transmitir determinadas enseñanzas. El diseño de la instrucción implica la definición de una secuencia de actividades y tareas. La sistematización de estas actividades y tareas se realiza de acuerdo a una estrategia instructiva.
- **Evaluación.** El proceso de evaluación permite comprobar el grado de cumplimiento de los objetivos educativos por parte de los estudiantes destinatarios del proceso instructivo.

El modelo de dominio apto para un sistema de aprendizaje asistido por ordenador, dado que se corresponde con un tipo particular de sistema para el aprendizaje, debería abarcar la representación de estos elementos. Por otro lado, y tal y como se constato en la revisión realizada en el estado de la cuestión de este trabajo, el desarrollo de un sistema software para la instrucción debe cubrir cuatro perspectivas o facetas: el proceso de instrucción, los contenidos, la presentación de los contenidos y la funcionalidad del sistema [79]. Las dos últimas facetas son específicas de cada sistema desarrollado, con lo cual se corresponden con el modelo de sistema y quedan fuera del alcance de este apartado. En lo que respecta a los contenidos, estos son específicos de cada sistema pero dependen del dominio instructivo en el cual se emplea el sistema; por lo tanto, junto a la representación del proceso de instrucción, el modelo de dominio de debe permitir la descripción de los contenidos específicos del dominio.

Un último factor a considerar hace referencia al principio de reutilización, aspecto esencial en el desarrollo de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador. Centrándonos en la estructura de este tipo de sistemas, un sistema de aprendizaje asistido por ordenador se puede considerar como:

*A computer supported learning system can be considered as a structured set of learning components, whose qualities and characteristics rely on the learning components that compose it.*

D. Díez [49]

Un sistema de aprendizaje asistido por ordenador se concibe como una suma organizada de componentes de aprendizaje (*learning component*). En este sentido, la reutilización de elementos pasa por el análisis de los componentes para el aprendizaje disponibles, estudiando su utilidad y adecuación a las necesidades del sistema. A fin de poder alcanzar este objetivo, la definición del modelo de dominio debe abarcar el estudio de las plataformas, actividades y servicios de aprendizaje existentes en el dominio; en caso contrario, no es posible establecer aquellos elementos comunes del dominio, partícipes en distintos sistemas y, por tanto, susceptibles de reutilización. Habitualmente, cuando se hace referencia al análisis de un sistema software, suele indicarse que el objetivo es «*separar los aspectos funcionales de los detalles técnicos o de implementación*» [7], requisito que entra en colisión con el estudio de los componentes para el aprendizaje disponibles en el dominio. La explicación a esta aparente contradicción se encuentra en que el modelo de dominio no pretende especificar el sistema, responsabilidad de la fase de diseño del sistema, sino proporcionar una herramienta que facilite el posterior estudio y representación de las necesidades y condiciones del sistema a desarrollar. El modelo de dominio debe ofrecer un compendio de todos aquellos factores del dominio que condicionan el proceso de desarrollo, sean estos aspectos relativos al entorno de utilización de la aplicación, funcionales o puramente tecnológicos. La figura 4.3 muestra de manera resumida el conjunto de elementos de un dominio instructivo que intervienen en el desarrollo de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador. Un modelo de dominio consistente y completo debería abarcar, al menos, la descripción de todos estos elementos a fin de proporcionar una representación adecuada del dominio de aplicación del sistema.

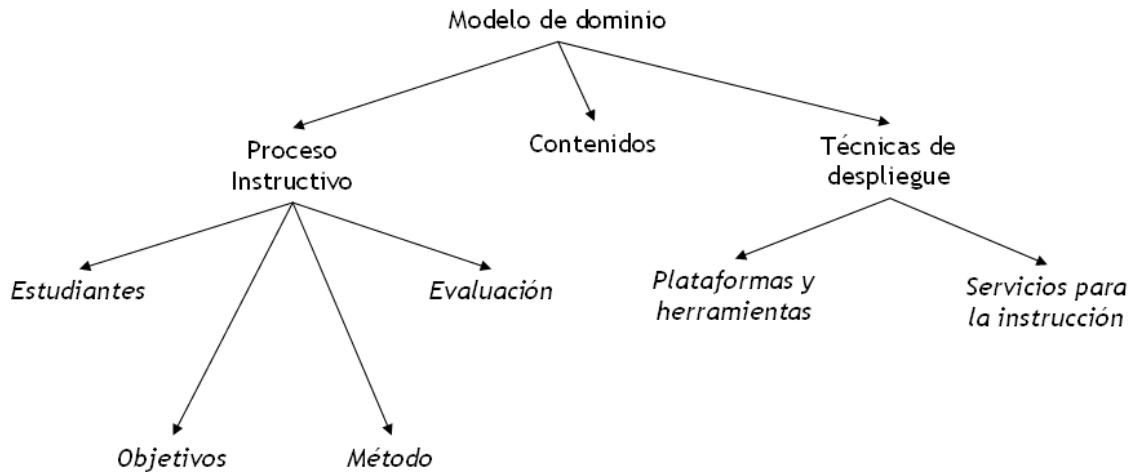


Figura 4.3: Elementos definitorios de un dominio instructivo

Aun siendo el factor esencial, la elaboración de un modelo de dominio no puede limitarse a la mera recopilación de las propiedades que caracterizan al dominio, sino que es necesaria una descripción más precisa del mismo. La descripción del dominio instructivo se basará en los siguientes artefactos software:

- Diccionario del dominio. Recopilación de aquellos términos esenciales que intervienen en el dominio instructivo. Permite establecer un vocabulario específico que evite ambigüedades y errores.
- Diagrama de conceptos. Representación de los conceptos significativos del dominio. Los conceptos se clasifican según su función en el dominio.
- Diagrama de características. Representación de las características de los conceptos del dominio. Recoge las propiedades comunes y variables del dominio, estableciendo relaciones y restricciones entre los mismos. Las características se agrupan por facetas de interés del desarrollo.
- Reglas de negocio. Normas de composición entre las características del dominio. Proporciona heurísticas que guían la definición de requisitos y minimizan la inconsistencia de la futura definición del sistema.

La conjunción de estos artefactos conforman un modelo de dominio que representan el conocimiento intrínseco de un dominio instructivo.

## I. Diccionario del dominio

El *diccionario del dominio* es el artefacto software encargado de establecer el vocabulario del dominio. El diccionario del dominio proporciona un catálogo de términos específicos de un dominio instructivo, así como un resumen de los vocablos habituales del dominio de la instrucción. La definición correcta y completa del catálogo de términos del dominio facilita la comprensión de los conceptos específicos de un contexto de aplicación, facilitando la comunicación entre los participantes en el proceso.

### Propósito del artefacto

El propósito primordial del diccionario del dominio es establecer el vocabulario de un dominio instructivo, recopilando términos específicos del dominio o utilizados con habitualidad en el mismo. La definición del diccionario del dominio permite satisfacer una serie de objetivos secundarios:

- Facilitar la comprensión del dominio. El diccionario del dominio fija con claridad, precisión y exactitud la semántica de los conceptos del dominio instructivo.
- Mejorar la comunicación entre los participantes del proceso de desarrollo. El diccionario del dominio actúa como un repositorio de abreviaturas, acrónimos y palabras de uso común en el dominio. El diccionario del dominio sirve como herramienta de consulta, precisando la terminología del dominio y facilitando el intercambio de información entre los distintos grupos de participantes en el proceso de desarrollo.
- Determinar el alcance del dominio instructivo. Aunque no se puede considerar como un objetivo directo del artefacto, el diccionario del dominio permite establecer los límites del dominio instructivo analizado. La definición de la terminología del dominio permite establecer qué forma parte del dominio y, en correspondencia, qué se excluye del mismo.

El diccionario del dominio contribuye a evitar la inconsistencia del modelo de dominio, mejorando la consistencia de la especificación realizada.

### Descripción del artefacto

El diccionario del dominio comprende una relación ordenada y comentada de los vocablos de uso común en un dominio instructivo. Por tanto, el diccionario se corresponde con una lista de entradas, cada una de las cuales dispone de un nombre y un tipo que indica si se trata de una abreviatura, un acrónimo o una palabra. El comentario asociado a cada entrada del diccionario vendrá determinado por su tipo:

- Abreviatura. Una abreviatura consiste en la representación gráfica reducida de una palabra mediante la supresión de algunas de sus letras. Las entradas del tipo abreviatura harán referencia a la palabra asociada con la abreviatura.
- Acrónimo. Vocablo formado por la unión de elementos de dos o más palabras. Las entradas del tipo acrónimo contendrán la explicación y significado del mismo.
- Palabra. Una palabra viene identificada por una definición que determina con claridad y exactitud el significado de la misma. Habitualmente, una misma palabra dispone de varias acepciones que varían el significado del término según el contexto de aplicación del mismo. En el caso del diccionario del dominio, dado que se circunscribe a un dominio instructivo específico, no es habitual encontrarse ante casos de polisemia; sin embargo, y a fin de proporcionar una solución lo más genérica posible, se permitirá la existencia de varias acepciones por palabra.

De la misma manera, y a fin de facilitar el uso del diccionario y mejorar la comunicación de los participantes en el proceso, en aquellos casos que fuera necesario, se definirán sinónimos de la palabra considerada. Cada sinónimo se representará con el nombre de la palabra asociada y la referencia a la entrada correspondiente.

La figura 4.4 describe gráficamente el modelo conceptual correspondiente al diccionario del dominio. De la misma manera, la primera sección del anexo B recoge el modelo de información correspondiente al diccionario del dominio. El modelo de información expresa la forma de representar el diccionario del dominio de manera formalizada, estableciendo las bases para la futura automatización de su gestión.

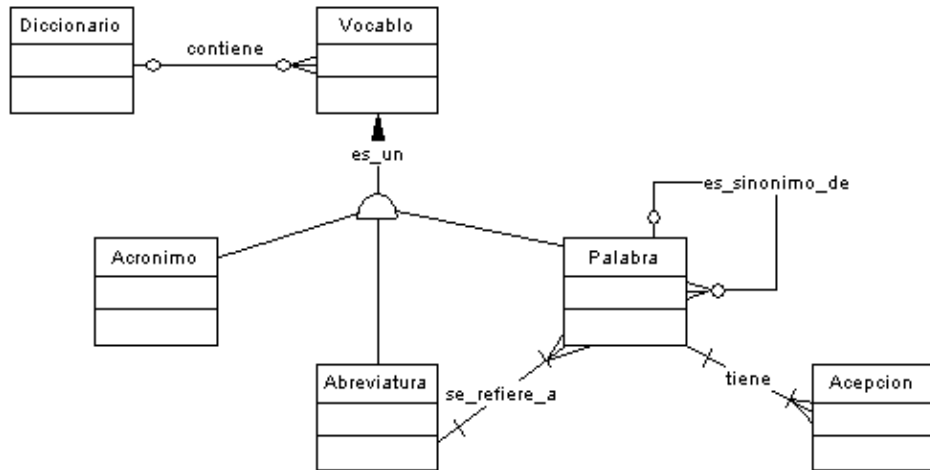


Figura 4.4: Modelo conceptual del diccionario del dominio

### Directrices de elaboración

El diccionario del dominio recopila la terminología necesaria para facilitar el estudio y especificación del dominio. A la hora de elaborar el diccionario del dominio es necesario tener presente las siguientes recomendaciones:

- Reflejar la terminología del dominio. El diccionario del dominio actúa como un glosario de conceptos, siendo responsabilidad del diagrama de conceptos, del diagrama de características y de las reglas de negocio la definición de las relaciones existentes entre dichos conceptos.
- Limitar la extensión del diccionario. El diccionario no debe contener definiciones genéricas ni explicar términos comunes del habla. Una forma de trabajo habitual de los métodos de análisis de dominios es la definición de un diccionario circunscrito al dominio analizado. Puesto que un dominio instructivo forma parte de un dominio ya de por sí bastante restringido, como es el dominio de la instrucción, el proceder habitual de los métodos de análisis de dominios se puede traducir en un glosario de vocablos excesivamente específico, limitando la utilidad y eficacia del diccionario. A fin de evitar esta circunstancia, se propone recopilar en el diccionario tanto los términos propios del dominio instructivo analizado como aquellos vocablos habituales en el dominio de la instrucción.

## II. Diagrama de conceptos

El *diagrama de conceptos* establece la semántica de un dominio instructivo. El diagrama de conceptos se representa en base a conceptos y relaciones entre los mismos. Un concepto representa una entidad del dominio instructivo significativa desde el punto de vista del desarrollo de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador. Se considerarán como conceptos tanto las realidades propias del proceso instructivo como aquellas referidas al despliegue y uso del sistema.

### Propósito del artefacto

El diagrama de conceptos es el artefacto esencial en la definición de la semántica de un dominio instructivo. La definición del diagrama de conceptos mejora la comprensión del dominio instructivo, ofreciendo una herramienta que permite:

- Disponer de una abstracción del dominio. La representación de los conceptos del dominio hace patente aquellas realidades, entidades o situaciones que deben ser especialmente consideradas durante la definición del problema.
- Reflejar la estructura del dominio. El diagrama de conceptos no sólo refleja los conceptos significativos del dominio, sino que establece relaciones entre los mismos, fijando su tipología y cardinalidad.
- Establecer un lenguaje del dominio. La combinación del diagrama de conceptos y el diccionario del dominio permite disponer de un lenguaje específico del dominio instructivo. El lenguaje del dominio recopila el conjunto de abstracciones que se concretarán en el análisis de los sistemas del dominio.
- Ofrecer una visión general del dominio. El diagrama de conceptos proporciona una visión general sobre el dominio, facilitando la comprensión del mismo por aquellos participantes en el proceso de desarrollo que no son expertos en el contexto de la enseñanza asistida por ordenador.

El diagrama de conceptos proporciona una representación gráfica de los conceptos del dominio, establecido su semántica y facilitando la comprensión del mismo.



### Descripción del artefacto

El modelo utilizado para la representación del diagrama de conceptos se asemeja al modelo de un diagrama de entidad-relación [26], con la diferencia de que únicamente recoge conceptos del dominio y relaciones entre las mismas, delegando en otros artefactos la definición de los atributos de cada concepto. Los siguientes párrafos detallan los componentes del modelo de la solución elaborada, explicando su sentido y utilidad para la definición de la semántica de un dominio instructivo.

Un proceso instructivo se puede concebir como un conjunto de individuos que realizan distintas tareas utilizando unos medios adecuados a fin de alcanzar unos objetivos instructivos específicos. De la misma manera, un dominio instructivo hace referencia al conjunto de procesos instructivos que se acometen en un determinado contexto. La combinación de ambas sentencias evidencia las distintas realidades que describen un dominio instructivo: actores, tareas, medios y objetivos del proceso. Basándose en esta definición, y tal y como se muestra en la figura 4.5, el diagrama de conceptos representará la semántica del dominio instructivo mediante las siguientes realidades:

- Actor. Se entiende por actor cada uno de los individuos que desempeña una función representativa en el dominio instructivo. Ejemplos de actores serían los estudiantes y docentes participantes en el proceso instructivo.
- Tarea. Cada una de las actividades u operativas propias del dominio instructivo. Habitualmente, una tarea es realizada por un actor y su ejecución tiene repercusión en otro actor del dominio.
- Medio. Conjunto de elementos disponibles para la realización de una tarea del dominio. Un medio hace referencia a cualquier recurso físico o lógico utilizado en el dominio. Se clasificarán como medios los contenidos, los materiales y servicios instructivos, las herramientas de soporte, etc.
- Objetivo. Fin último de las tareas del dominio instructivo. Los objetivos pueden hacer referencia a propósitos educativos u operativos.

En lo que respecta a las relaciones, una relación expresa la correspondencia existente entre dos conceptos del dominio. Cada relación del diagrama dispondrá de un nombre y una cardinalidad que determine el grado de multiplicidad de la asociación.

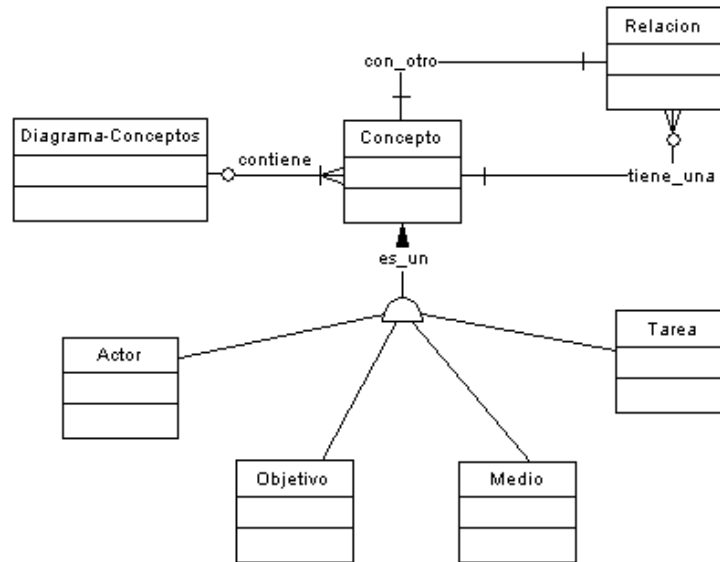


Figura 4.5: Modelo conceptual del diagrama de conceptos

### Directrices de elaboración

El diagrama de conceptos toma como referencia la información contenida en el diccionario del dominio. Una vez revisadas las distintas fuentes de conocimiento, y tras haber establecido el vocabulario del dominio, se dispone de un glosario de términos que recopila los conceptos significativos desde el punto de vista del proceso de instrucción. A partir de la terminología del dominio se identifican los correspondientes conceptos y se establecen las relaciones entre los mismos. Finalmente, el diagrama se completa con aquellos conceptos que siendo relevantes para el desarrollo de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador no son específicos del proceso de instrucción. Puesto que los dominios instructivos forman parte de un contexto más genérico pero suficientemente limitado como es el contexto de la enseñanza asistida por ordenador, es posible establecer una serie de conceptos genéricos y relaciones entre conceptos comunes a todos los dominios instructivos. Estos conceptos y relaciones genéricos expresan situaciones identificadas por las tecnologías de la instrucción como la relación entre competencias y habilidades, o las atribuciones de los docentes en el proceso instructivo. Un ejemplo detallado de este hecho se recoge en el anexo C de la presente memoria. El anexo describe la prueba de concepto del método ComBLA y recoge ejemplos de conceptos genéricos al contexto de la enseñanza asistida por ordenador.

### III. Diagrama de características

El *diagrama de características* extiende el diagrama de conceptos, representando las propiedades específicas de los conceptos del dominio. El diagrama de características describe la semántica del dominio mediante una estructura jerárquica que representa de manera arborescente las cualidades comunes y variables del dominio instructivo. Un modelo de dominio puede contener uno o varios diagramas de características, cada uno de los cuales será responsable de la definición de un conjunto de características.

#### Propósito del artefacto

El propósito del diagrama de características es describir la semántica del dominio instructivo en base a sus propiedades. La elaboración de un diagrama de características permite alcanzar los siguientes objetivos:

- Facilitar la comprensión del dominio. La intención del modelo de características no es dar una definición precisa del dominio sino proporcionar una idea general, imprecisa pero completa, de sus partes o propiedades. El diagrama de características representa las distintas configuraciones del dominio, exponiendo no sólo sus propiedades sino la relación existente entre las mismas.
- Mejorar la comunicación. Una característica es un concepto intuitivo, de fácil comprensión por los participantes en el proceso de desarrollo, alejado de técnicas de descomposición funcional muy específicas, como las clases de negocio, que dificultan el estudio de las cualidades de un dominio instructivo.
- Fomentar la reutilización. El diagrama de características permite expresar tanto la especificidad como la variabilidad del dominio, siendo ésta una condición esencial para alcanzar la reutilización de componentes.

El diagrama de características proporciona una descripción completa y concisa del dominio, proporcionando un modelo intuitivo y especialmente concebido para alcanzar la reutilización de componentes [35].

### Descripción del artefacto

Un diagrama de características describe la semántica del dominio en base a:

- Conceptos. Cada una de las realidades significativas del dominio. Los conceptos del dominio y las relaciones entre los mismos se reflejaron previamente en el diagrama de conceptos.
- Características. Cada una de las cualidades o propiedades de los conceptos del dominio. Una característica puede ser matizada, a su vez, por otras características del dominio.
- Facetas. Cada una de las perspectivas que intervienen en el desarrollo de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador. Una faceta agrupa a un conjunto de conceptos y características.

El modelo conceptual del diagrama de características se recoge en la figura 4.6.

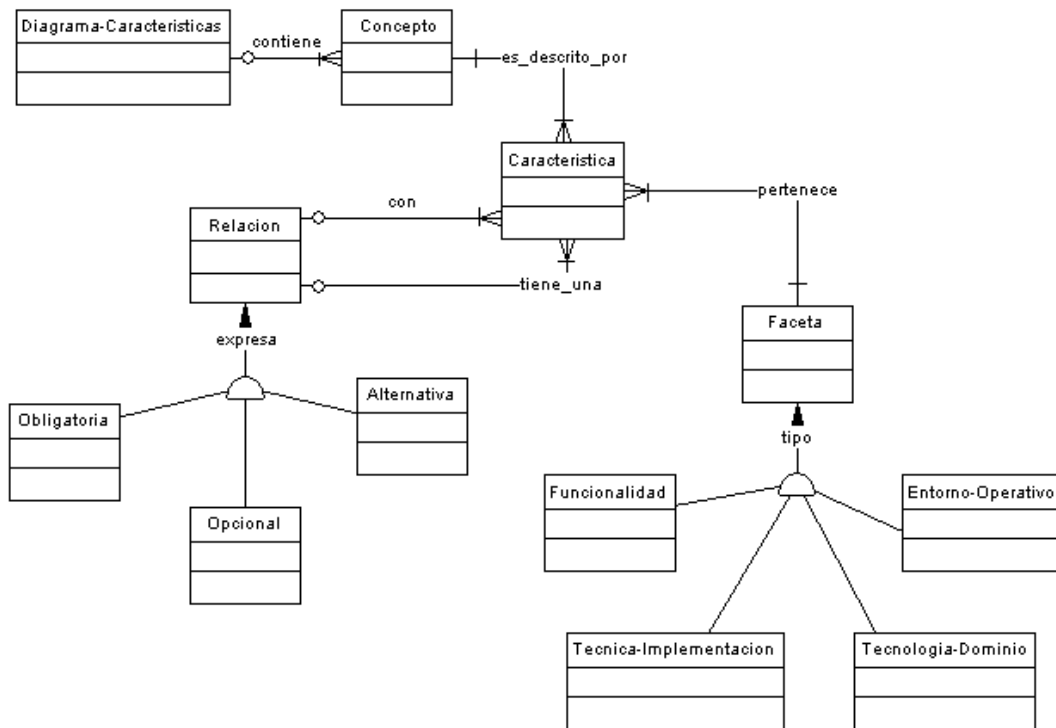


Figura 4.6: Modelo conceptual del diagrama de características

De las entidades expuestas, las características resultan el elemento esencial para la descripción de la semántica del dominio; por lo tanto, requieren una explicación más detallada sobre su naturaleza. En particular, y a fin de representar la variabilidad y la especificidad del dominio, objetivo último de la labor de modelado del método ComBLA, las características se clasifican en:

- **Obligatorias.** Se entiende por características obligatorias aquellas que siempre forman parte de la descripción de una instancia de un determinado concepto. Si un concepto descrito mediante características obligatorias se incluye en el problema a resolver, la instancia correspondiente tendrá forzosamente dichas características. Por ejemplo, si un concepto viene representado por dos características obligatorias (c1 y c2), la instancia incluida en el problema tomará obligatoriamente la combinación (c1 y c2)
- **Opcionales.** Se entiende por características opcionales aquellas que pueden formar parte o no de la descripción de una instancia de un concepto. Por ejemplo, si un concepto viene representado por dos características opcionales (c1 y c2), la instancia incluida en el problema puede tomar alguna de las siguientes combinaciones: (c1), (c2) ó (c1 y c2). La elección de una u otra configuración dependerá de los requisitos establecidos por los interesados durante la fase de definición de los requisitos del sistema. En caso de no poder deducir la configuración más adecuada a partir de los requisitos, se tomará como criterio definitorio, tal y como se expone más adelante, el peso de la relación.
- **Alternativas.** Las características alternativas señalan agrupaciones de características obligatorias entre sí pero opcionales respecto a otro grupo. Por ejemplo, si un concepto tiene cinco características (c1, c2, c3, c4 y c5), las tres primeras consideradas como alternativas de las dos últimas, las instancias del concepto podrán describirse mediante dos posibles configuraciones: (c1, c2 y c3) ó (c4 y c5). Como en el caso de las características opcionales, la elección de la configuración dependerá de los requisitos del interesado o, en su caso, del peso concedido a la relación.

En cuanto a su representación, un diagrama de características se corresponde con un grafo unidireccional estructurado en forma de árbol. La representación de un diagrama de características se basa en los siguientes elementos:

- **Nodo.** Elemento esencial del diagrama de características. Se entiende por nodo cada uno de los puntos del diagrama que sirven como origen o destino de ramificaciones. Un nodo del diagrama de características puede representar un concepto o una característica. Los nodos de tipo concepto actúan siempre como raíz del subárbol que caracteriza al concepto, no pudiendo tener como padre a otro concepto o característica. Por el contrario, los nodos de tipo característica pueden actuar como padre de una característica, o como hijo de un concepto o de otra característica.
- **Arista.** Línea que denota la relación existente entre dos nodos. El diagrama de características estará formado por aristas dirigidas; es decir, toda arista del diagrama definirá un sentido que establecerá la forma de recorrer los nodos del árbol. Las aristas dispondrán de un peso que establecerá el grado de dependencia existente entre los nodos unidos por la arista. A mayor peso, mayor dependencia o relación entre nodos. El peso se representará mediante un valor discreto que determina una relación «poco habitual», «habitual» o «muy habitual» entre las características.
- **Decorador.** Se trata de un añadido a la definición habitual de un grafo. Los decoradores representan gráficamente las posibles configuraciones existentes entre los nodos descendientes de un determinado nodo: dependiendo del tipo de decorador así se podrán establecer unas combinaciones u otras de nodos descendientes. Siguiendo la definición establecida para los tipos de características, se dispondrá de tres tipos de decoradores: obligatorio, opcional y alternativo.

La notación utilizada en el presente trabajo para representar el diagrama de características se recoge en la figura 4.7. La simbología propuesta se basa en la notación empleada por Czarnecki [35] para la definición de modelos de características. Por último, al igual que en el resto de artefactos, se ha definido un modelo de información que formaliza la representación del diagrama de características. El modelo de información se expone en el anexo B de la presente memoria.

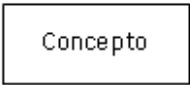
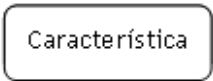
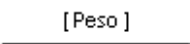



Elemento	Descripción	Ejemplo
<b>Nodo concepto</b>	Entidad significativa del dominio de la instrucción representado por el diagrama de características	
<b>Nodo característica</b>	Cualidad distinguible de una entidad del dominio del instructivo	
<b>Arista</b>	Relación existente entre dos nodos del diagrama de características. Por cada arista se define su peso que determina el grado de dependencia entre nodos	
<b>Decorador obligatorio</b>	Indica la relación de obligatoriedad entre los nodos de la arista. Siempre que esté presente el nodo padre lo estará el nodo hijo. El decorador se sitúa en el extremo del nodo hijo	
<b>Decorador opcional</b>	Indica una relación opcional entre los nodos de la arista. Si el nodo padre aparece el nodo hijo puede o no aparecer. El decorador se sitúa en el extremo del nodo hijo	
<b>Decorador alternativo</b>	Señala agrupaciones de nodos alternativas. Se refleja como un arco que agrupa los nodos que forman parte de la agrupación	

Figura 4.7: Sintaxis del diagrama de características

### Directrices de elaboración

Los métodos de modelado de características proponen habitualmente un proceso de elaboración de modelos de características dividido en dos etapas. En primer lugar, se establece un conjunto de elementos, conocido como *starter set*, que identifica los aspectos o áreas de interés del dominio. A continuación, se caracterizan estos elementos proporcionando una descripción de los mismos desde distintas perspectivas o puntos de interés. Siguiendo esta línea de trabajo generalmente aceptada, la elabo-

ración del diagrama de características del método ComBLA también se dividirá en dos tareas principales. La primera de estas tareas, la definición de un conjunto de elementos definitorios del dominio, se corresponde con la elaboración del diagrama de conceptos. El segundo paso implica la identificación de las perspectivas que caracterizan al desarrollo de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador. Tomando como referencia el método FORM [100], el cual propone una serie de facetas definitorias del desarrollo de sistemas software, se han realizado las adaptaciones convenientes al contexto instructivo, estableciendo las siguientes facetas:

- **Funcionalidad.** Características asociadas con la funcionalidad soportada por el sistema. Se corresponde con los contenidos, las actividades y tareas instructivas, así como con los conocimientos o habilidades evaluables. La descripción de la funcionalidad está relacionada de manera casi directa con la disciplina implicada en el dominio instructivo.
- **Entorno operativo.** Una característica del entorno operativo representa una condición bajo la cual se utiliza el sistema. El perfil del alumno, los aspectos organizativos, o las actividades de soporte se tratarán como características del entorno operativo.
- **Técnicas de implementación.** La faceta agrupa información referida a la forma en la cual se implementan las operativas del dominio. Se incluyen en este grupo características referidas a plataformas, servicios y herramientas utilizados por los sistemas del dominio.
- **Tecnologías del dominio.** Se entenderá por tecnología del dominio el conjunto de teorías y de técnicas que permiten el aprovechamiento práctico del conocimiento intrínseco al dominio instructivo. La faceta representa aquellos métodos educativos, estrategias instructivas y formas de evaluación de uso común en el dominio. Su definición vendrá condicionada más por la forma de instrucción del dominio que por la disciplina implicada en el mismo.

Las facetas ofrecen una visión multidimensional del dominio, representando distintas perspectivas del problema, cada una de las cuales es responsabilidad o está asociada a un grupo de participantes en el proceso de desarrollo. Así, la funcionalidad



será punto de interés de los expertos en contenidos, las tecnologías del dominio y el entorno operativo estarán relacionadas con la labor del diseñador instructivo, mientras que los analistas y diseñadores del sistema software se centrarán en las técnicas de implementación. A fin de facilitar su elaboración, y la posterior utilización de los diagramas elaborados, se recomienda crear un diagrama de características por cada una de las facetas del dominio instructivo. Por último, y de manera genérica, se establecen una serie de pautas que deben considerarse al elaborar un diagrama de características:

- El diagrama debe expresar la variabilidad del dominio. A lo largo de este trabajo se ha expresado en varias ocasiones la relevancia de los diagramas de características para expresar variabilidad y, en consecuencia, mejorar la reutilización. Un diagrama de características sólo se considerará válido si expresa tanto la especificidad del sistema como posibles alternativas que abarquen las distintas configuraciones del dominio.
- El diagrama debe expresar prioridad. El diagrama no debe limitarse a expresar las propiedades del dominio y las relaciones entre las mismas, es fundamental que refleje el peso de cada característica en la realidad descrita. Estas prioridades ofrecen guías para la selección de características y establecen secuencias de actuación para sucesivas etapas del desarrollo: indica qué características deben implementarse primero, o cuales debería satisfacer un componente o material reutilizable.
- El diagrama debe representar el dominio. El diagrama de características describe el dominio instructivo en base a sus características. Tal y como se expuso en la definición previa, ver sección 4.1.3, una característica refleja una cualidad relevante desde el punto de vista del proceso de desarrollo en un dominio instructivo específico. Por tanto, a la hora de elaborar el diagrama de características únicamente deben considerarse las propiedades que son relevantes desde el punto de vista del dominio. Esta restricción resulta especialmente importante al expresar la variabilidad del dominio: en ocasiones, puede incurrirse en el error de expresar como características opcionales propiedades que son específicas de un sistema en particular pero poco relevantes desde el punto de vista de la semántica del dominio.

#### IV. Reglas de negocio

La estructura arborescente de los diagramas de características contribuye a incrementar su utilidad, simplificando su manejo y facilitando la descripción de los conceptos. Sin embargo, esa misma simplicidad estructural contribuye de manera negativa a la hora de definir consistentemente la semántica del dominio. A fin de solventar esta limitación, sin perder las ventajas propias de los diagramas de características, se propone la definición de reglas de negocio. Las *reglas de negocio* definen una serie de criterios de composición que amplían el conocimiento definido por las relaciones de los diagramas de características.

##### Propósito del artefacto

Las reglas de negocio actúan como un complemento a los diagramas de características, incrementando la consistencia del modelo de dominio. La definición de las reglas de negocio permite disponer de una herramienta adecuada para:

- Describir el dominio. Como se ha expuesto previamente, las reglas de negocio extienden la semántica de los diagramas de características, definiendo aspectos que no pueden representarse mediante la notación específica de los diagramas de características.
- Facilitar la definición del sistema. Las reglas de negocio establecen criterios de selección que actúan como guías en el proceso de selección de las características del sistema. Las reglas de negocio actúan como heurísticas del proceso de análisis del sistema.
- Validar el modelo de sistema. Las reglas de negocio definen restricciones que condicionan las posibles características del sistema a desarrollar. El cumplimiento por parte del modelo de sistema de las restricciones impuestas por las reglas de negocio valida desde el punto de vista de las características del sistema la especificación realizada.

Las reglas de negocio conforman el artefacto esencial para la toma de decisiones durante la fase de análisis del sistema. Las reglas determinan las combinaciones de características que pueden considerarse como validas en el dominio.

### Descripción del artefacto

Las reglas de negocio establecen una serie de preceptos que enriquecen y complementan el conocimiento representado por los diagramas de características. Las reglas de negocio se definen de acuerdo al siguiente modelo:

- Características. Las reglas de negocio establecen restricciones funcionales entre características del dominio. La regla debe reflejar **qué** características del dominio se ven afectadas por la restricción definida en la regla.
- Norma de composición. La regla de negocio define una norma de composición que delimita **cómo** pueden combinarse las características. Las normas de composición establecen restricciones sobre la forma en la cual se pueden componer o configurar las características del dominio sin incurrir en errores de negocio.
- Condiciones. La condición establece qué circunstancias deben incurrir en las características para que se cumpla la restricción indicada. La condición define **cuándo** se cumple la restricción.

Por lo que respecta a las restricciones sobre la forma de configurar las características del dominio, el método ComBLA establece tres tipos de normas de composición:

- Inclusivo. Las características de la regla siempre se seleccionan en grupo. La elección de una de las características de la regla conlleva la selección del resto de características.
- Exclusivo. Las características de la regla nunca pueden combinarse entre sí. La selección de una de las características de la regla implica la exclusión de las demás características.
- Facultativo. No establece una obligatoriedad sino una recomendación. En caso de elegir una característica de la regla deberían elegirse el resto de características enumeradas.

El último aspecto a considerar hace referencia a las condiciones que deben cumplir las características de la regla para considerarse como válida la norma de composición impuesta por la regla. En el presente trabajo, a fin de simplificar el modelado

de las reglas de negocio, las condiciones sólo harán referencia a los posibles valores de las características implicadas. A partir de esta limitación, se establecen dos tipos de operadores:

- Operador de restricción. Establece qué condiciones debe cumplir una característica de la regla para aplicarse la norma de composición.
- Operador de concatenación. Permite crear condiciones múltiples combinando distintas restricciones sobre una o varias características. El operador de concatenación se tratará en todos los casos como un operador binario, tomando dos posibles valores: «and lógico» y «or lógico». Por lo que respecta a los operandos, estos se corresponderán con otros operadores, ya sean de restricción o de concatenación.

Junto al modelo conceptual expuesto en la figura 4.8, se ha definido un modelo de información que establece la forma de representar y declarar las reglas de negocio. El modelo de información se recoge en el anexo B de la presente memoria.

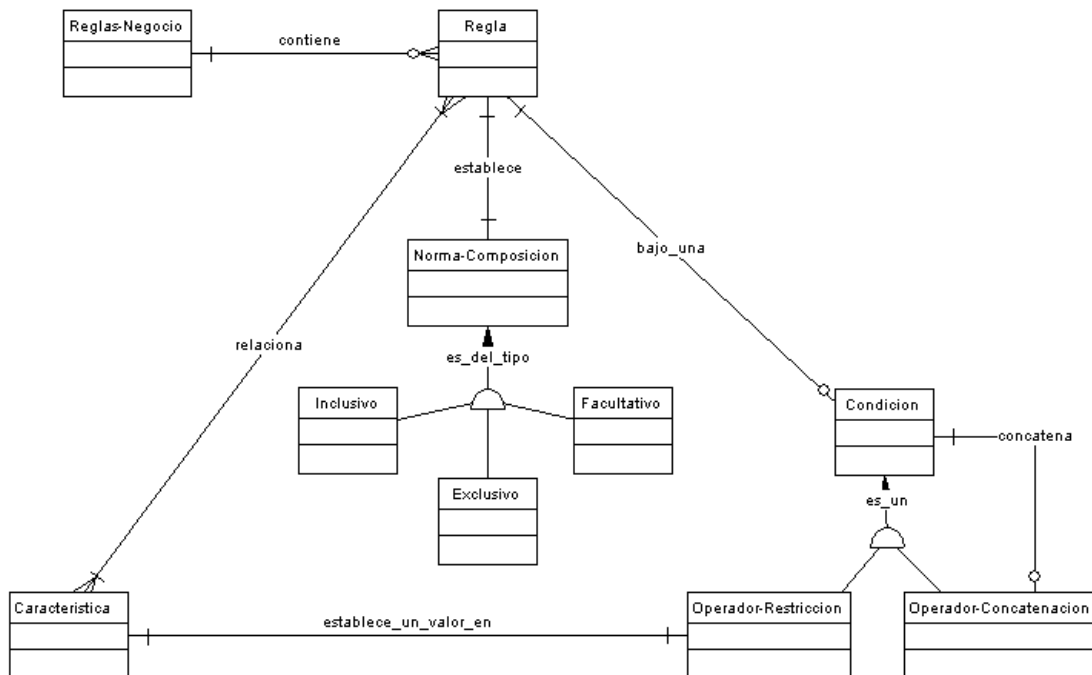


Figura 4.8: Modelo conceptual de las reglas de negocio

### **Directrices de elaboración**

La definición de las reglas de negocio viene condicionada en gran medida por el proceso de elaboración del diagrama de características. Puesto que las reglas se entienden como una extensión de los diagramas de características, durante el proceso de identificación, selección y organización de las características es posible reconocer aquellas restricciones que deben plasmarse como reglas de negocio. El proceso de definición de las reglas de negocio se basará en la propia estructura de las reglas:

- **Recopilación de características.** Labor asociada a la tarea de elaboración del diagrama de características del dominio. Durante la identificación y clasificación de características se realiza la recopilación y agrupación de aquellas características relacionadas entre sí pero asociadas a conceptos distintos. Las agrupaciones de características establecen las posibles de reglas de negocio del dominio.
- **Definición de restricciones.** Por cada agrupación de características, se determina el tipo de restricción existente entre las características de la agrupación y se define la norma de composición correspondiente.
- **Formulación de condiciones.** Por último, se establecen las posibles condiciones bajo las cuales la regla de negocio tiene sentido. La formulación de condiciones se basará en el estudio de cada una de las características de la agrupación y la identificación de los valores que condición la aplicación de la norma de composición.

Al elaborar las reglas de negocio una actividad resulta especialmente importante: la validación de las reglas establecidas. Puesto que las reglas de negocio son un elemento esencial para la posterior definición del sistema es necesario garantizar su corrección. Esta condición obliga a validar las reglas definidas contra las fuentes de conocimiento utilizadas para definir el modelo de dominio. A fin de alcanzar este objetivo, se recomienda realizar una doble validación de las reglas definidas: en primer lugar, como última labor de la tarea de definición de las reglas de negocio y, posteriormente, durante la actividad de comprobación del modelo de dominio.

### 4.2.3. El modelo de sistema

El modelo de sistema proporciona una visión preliminar del sistema a desarrollar, describiendo de manera estructurada las necesidades y condiciones del sistema. La elaboración de un modelo de sistema tiene por objeto:

- Comprender los requisitos del sistema. La definición del modelo de sistema permite abstraer aquellos conceptos del sistema que condicionan su desarrollo, facilitando la comprensión del problema específico que se pretende resolver.
- Facilitar la verificación de la especificación. El modelo de sistema es la herramienta fundamental para alcanzar la completitud, corrección y consistencia de la definición del sistema.
- Servir como base de la etapa de diseño. El modelo de sistema proporciona al diseñador una representación básica del sistema a elaborar y de las condiciones de utilización del mismo.

El modelo de sistema proporciona una representación rigurosa de los requisitos definidos durante la fase de educación de requisitos. La especificación de los requisitos debe realizarse desde diversas vistas, cada una de las cuales proporciona una visión anticipada de una perspectiva significativa del sistema. Tradicionalmente, dentro del campo del desarrollo de software, el modelo de sistema contempla dos perspectivas:

- Modelo funcional. El modelo funcional describe la funcionalidad que debe satisfacer el sistema. El modelo funcional está relacionado con el *qué*, expresando las tareas que debe realizar el sistema.
- Modelo de comportamiento. El modelo de comportamiento describe el flujo de actividades necesario para alcanzar los objetivos del sistema. El modelo de comportamiento se centra en el *cómo*, en la forma en que se llevan a cabo las tareas del sistema.

Adicionalmente, e influenciado en gran medida por el análisis y diseño orientado a objetos, es habitual elaborar un modelo estructural que represente las entidades implicadas en el problema y las relaciones entre las mismas.

Una particularidad de los sistemas de aprendizaje asistido por ordenador es la existencia de solapamiento entre las distintas perspectivas que intervienen en el problema [47]. Este solapamiento dificulta la posterior etapa de diseño: no siempre es posible realizar una división directa entre los modelos relevantes desde el punto de vista del diseño de la instrucción y los modelos significativos para el diseño del sistema software. A fin de resolver este problema, sin perder los principios de consistencia y completitud propios de la fase de análisis, es imprescindible proporcionar una descripción del problema homogénea y global, pero anticipando formas de agrupamiento que faciliten la posterior separación de los aspectos instructivos de los requisitos del sistema software que asistirá la instrucción. De esta forma, se resuelve en etapas iniciales del desarrollo el solapamiento y entrelazado entre características del sistema. La definición de estas formas de agrupamiento se realizará mediante el estudio de los aspectos relevantes desde el punto de vista del diseño de la instrucción, cotejándolos con las perspectivas habituales en el desarrollo de sistemas software y proponiendo un modelo específico para sistemas de aprendizaje asistido por ordenador. La revisión de distintos modelos de desarrollo de sistemas para la instrucción, ver sección 2.2.3 del capítulo de estado de la cuestión, revela la existencia de un modelo de análisis específico para este tipo de sistemas:

- Objetivos educativos. Definición de los objetivos que se pretende alcanzar mediante el proceso instructivo a diseñar.
- Perfil del estudiante. Descripción de las características, conocimientos y perfil de los destinatarios del proceso formativo.
- Actividades de aprendizaje. Denominado por algunos autores como «tareas de aprendizaje», hace referencia al conjunto de operaciones realizadas durante el proceso de aprendizaje.
- Contenidos. Contenidos a transmitir y aptitudes a reforzar mediante el proceso instructivo.
- Entorno. Contexto en el cual se desarrolla la instrucción. Incluye desde factores ambientales, a aspectos legislativos y organizativos.

Por tanto, se puede deducir la existencia de un «modelo instructivo», necesario para la comprensión de un problema instructivo, conformado por dichos elementos.

El desarrollo de software para la instrucción viene determinado por un abanico de requisitos más extenso. En concreto, al desarrollar un sistema software para la instrucción es necesario contemplar cinco tipos de requisitos [73]:

- Requisitos educativos. Definición del conjunto de objetivos educativos soportados por el sistema.
- Requisitos del alumno. Descripción del tipo de alumno al cual va dirigido el sistema, su perfil, aptitud, conocimientos, formación previa, etc.
- Requisitos pedagógicos. Contenidos, recursos instructivos disponibles, perfil de los docentes, etc.
- Requisitos técnicos. Enumeración de las necesidades técnicas del sistema: recursos tecnológicos disponibles, medios utilizables, etc.
- Requisitos institucionales. Descripción del contexto en el cual opera el sistema. Incluye aspectos administrativos, organizativos y otros referidos a la seguridad y políticas de privacidad soportadas por el sistema.

La especificación de este conjunto de requisitos requiere un modelo de análisis más complejo, capaz de representar tanto las condiciones del proceso instructivo como los requisitos del sistema software que lo asiste; es decir, el funcionamiento y comportamiento del sistema ante las distintas circunstancias. Un modelo de análisis del software para la instrucción debe contemplar las siguientes perspectivas [83]:

- Modelo de usuarios. El modelo especifica el tipo de usuarios que intervienen en el proceso soportado por el sistema. Básicamente, se pueden considerar tres perfiles de usuarios: estudiantes, profesores y gestores o administradores del sistema.
- Modelo funcional. El modelo funcional describe las operaciones ejecutadas por el sistema como paso previo al diseño de procesos y componentes. Las operaciones soportadas por el sistema se pueden clasificar en dos grupos: (1) Operaciones utilizadas para administrar y gestionar el sistema; y (2) Operaciones asociadas a la labor de enseñanza y aprendizaje.
- Modelo pedagógico. El modelo pedagógico representa los elementos que intervienen en la instrucción y la forma en la cual se realiza el proceso de aprendizaje.



Un modelo de análisis como el descrito, a pesar de proporcionar una visión completa del sistema, presenta una restricción significativa: entremezcla la definición del proceso instructivo con la especificación de los requisitos del sistema software; es decir, dificulta la obtención de una base de conocimiento independiente para diseñadores instructivos y diseñadores software. La solución a esta restricción pasa por la definición de un modelo que permita la obtención de «vistas esenciales» [124], cada una de las cuales recopila aquella información significativa para un grupo de participantes en el desarrollo. El modelo de sistema recogido en el método ComBLA toma como referencia las perspectivas tradicionales del análisis de sistemas software, incorporando modelos específicos para la definición de un problema instructivo:

- Modelo contextual. El modelo contextual plasma aquellas condiciones externas al sistema que condicionan el proceso instructivo y la forma de utilización de la aplicación. Se incluye en este apartado información referida a la duración del curso, restricciones administrativas, medios tecnológicos disponibles, etc.
- Modelo estructural. El modelo estructural plasma las propiedades y las relaciones de las entidades significativas que intervienen en el proceso instructivo soportado por el sistema.
- Modelo funcional. El modelo funcional especifica la operativa soportada por el sistema. La especificación de la funcionalidad del sistema implica tanto la identificación de las actividades del proceso como la definición de las acciones propias del sistema.
- Modelo de comportamiento. El modelo de comportamiento establece la respuesta del sistema ante una acción del usuario. El modelo de comportamiento representa el intercambio de información producido entre las distintas entidades que componen el sistema.

A partir de los modelos propuestos se establecerá la «vista instructiva». La vista instructiva está formada por aquella información plasmada en las distintas perspectivas del modelo de sistema y que resulta significativa para la definición del problema instructivo. De acuerdo con la definición realizada anteriormente, la vista instructiva incluirá el modelo contextual, el modelo estructural y el conjunto de casos de uso que establecen las acciones instructivas del sistema.

Una vez establecidos las distintas vistas y perspectivas que conforman el modelo de sistema, el paso siguiente será identificar y definir los artefactos software utilizados por el método ComBLA para describir el sistema. La descripción del sistema se realizará mediante los siguientes artefactos software:

- Diagrama de contexto. Recopilación de aquellos factores y condiciones que, siendo independientes tanto del comportamiento del sistema software como del proceso de aprendizaje, condicionan el desarrollo de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador.
- Diagrama de entidades. Definición de las propiedades y relaciones de las entidades significativos del sistema. El diagrama de entidades establece el modelo estructural del sistema.
- Catálogo de casos de uso. Artefacto software principal del modelo de sistema del método ComBLA. El catálogo de casos de uso especifica las distintas operativas ejecutada por el sistema. En el caso de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador estas operativas se corresponden con: (1) Acciones de soporte. Operaciones para gestionar y administrar el sistema; y (2) Acciones instructivas. Operaciones correspondientes al proceso instructivo. Estas se clasificarán, a su vez, en acciones de aprendizaje, monitorización y difusión.
- Diagrama de actividades. El diagrama de actividades representa la secuencia de actividades del proceso instructivo del sistema de manera independiente a los participantes en el mismo. El diagrama de actividades complementa al catálogo de casos de uso para la definición del modelo funcional del sistema.
- Diagrama de secuencia. El diagrama de secuencia muestra el intercambio de mensajes entre las entidades del sistema. El diagrama de secuencia establece el modelo de comportamiento del sistema.

La conjunción de estos artefactos conforman un modelo de sistema que permiten la especificación de las necesidades y condiciones de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador. A continuación, se describirá cada uno de estos artefactos exponiendo su propósito y directrices de elaboración.

## I. El diagrama de contexto

Las ciencias cognitivas establecen la relación existente entre el proceso instructivo y el entorno en el cual se desarrolla el mismo. Así, unos mismos objetivos educativos, un mismo perfil de estudiante o unas mismas actividades instructivas se organizarán de manera diferente dependiendo del entorno instructivo en el cual se desarrolle el proceso, dando lugar a uno u otro diseño instructivo. Esta significación del entorno instructivo invita a incluir la definición de los factores externos al sistema como parte de la especificación del mismo. El modelo contextual plasma aquellas condiciones externas al sistema que condicionan el desarrollo de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador. A partir de esta premisa, el modelo contextual debe considerar dos tipos de factores:

- El contexto instructivo. Conjunto de factores organizativos y administrativos que determina la forma de instrucción soportada por el sistema.
- El contexto de la aplicación. Conjunto de características que definen la forma de ejecución de una aplicación informática.

A pesar de su aparente independencia, un estudio detallado de los factores incluidos en cada uno de estos grupos nos muestra el solapamiento existente entre los mismos. Por ejemplo, el equipamiento tecnológico disponible (la existencia o no de una red de ordenadores) condiciona la forma de evaluación pero también la arquitectura de la aplicación. De igual manera, el número de alumnos determina tanto la organización de las tareas de aprendizaje como el número de posibles accesos al sistema. Este solapamiento dificulta la clasificación de los factores en uno u otro grupo. Por este motivo, el modelo propuesto se limitará a recoger una serie de factores que condicionan el desarrollo del sistema, sugiriendo el contexto (instructivo o de aplicación) al cual pertenece pero sin clasificarlos inequívocamente.

El *diagrama de contexto* es el artefacto software que permite la representación de la información específica del modelo contextual. El diagrama de contexto se tomará como entrada tanto para los diseñadores del sistema software como para los diseñadores instructivos, siendo responsabilidad de cada perfil la elección y tratamiento de la información que consideren significativa para su labor.

### Propósito del artefacto

El propósito principal del diagrama de contexto es reflejar aquellos factores y condiciones que, siendo independientes tanto del sistema software como del proceso de aprendizaje, condicionan el desarrollo de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador. La definición del diagrama de contexto persigue la consecución de los siguientes objetivos:

- Mejorar el diseño instructivo. La forma de instrucción no sólo viene condicionada por los objetivos educativos, el tipo de alumno o los contenidos a transmitir, sino también por el grado de motivación de los participantes, así como por factores físicos y ambientales. El diagrama de contexto representa estos últimos aspectos a fin de ofrecer a los diseñadores instructivos una definición completa del problema instructivo a resolver. A mayor precisión en la especificación del problema, mayores posibilidades de definir una solución adecuada.
- Servir como base a la definición tecnológica del sistema. El sistema software es una herramienta que debe satisfacer una funcionalidad pero que, también, debe utilizarse bajo unas condiciones específicas. Un sistema correcto desde el punto de vista de la funcionalidad, pero poco accesible, con escasa disponibilidad o de difícil utilización será una herramienta inadecuada. El diagrama de contexto representa aquella información que sin hacer referencia de manera directa a la operativa del sistema si condiciona la forma de trabajo de un sistema software.
- Mejorar la gestión del proyecto. El diagrama de contexto plasma tanto de la situación de partida, definiendo distintos aspectos organizativos, institucionales y físicos que condicionan el proceso de desarrollo. Esta información puede ser relevante para el análisis de riesgos o la estimación tanto de coste como de recursos necesarios en el proyecto.

El diagrama de contexto permite la adecuada especificación de los requisitos técnicos e institucionales característicos de un sistema software para la instrucción [73], ofreciendo una vista significativa tanto para diseñadores instructivos y de sistema como para gestores del proceso de desarrollo.

### Descripción del artefacto

El diagrama de contexto representa una serie de factores que condicionan el desarrollo de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador. Los factores reflejados en el diagrama de contextos se corresponderán con los siguientes grupos o tipos de factores:

- **Organizativos.** Conjunto de características y condiciones que influyen en la forma de organización del proceso instructivo. Se incluye en este grupo el estudio sobre la duración del curso, la definición de hitos y cualquier otra condición administrativa que pueda influir en la forma de secuenciar las actividades instructivas del curso.
- **Operativos.** Se entiende por factores operativos el conjunto de restricciones y premisas que condicionan la forma de operar con el sistema. Se tratarán como factores operativos aquellas restricciones referidas a la disponibilidad, accesibilidad y seguridad del sistema. Ejemplos de factores operativos serán la definición del número máximo de accesos concurrentes permitidos, factor de disponibilidad, del tipo de deficiencias sensoriales que serán soportadas por la interfaz del sistema, factor de accesibilidad, y la necesidad o no de cifrar las conexiones con el sistema, factor de seguridad.
- **Medios tecnológicos.** Conjunto de medios disponibles que condicionan el despliegue y utilización del sistema. Habitualmente, los modelos de desarrollo de sistemas para la instrucción proponen el estudio de todos los medios materiales que intervienen en el proceso instructivo. En el caso de los sistemas para la instrucción asistida por ordenador, puesto que el proceso instructivo se basa en el uso de computadores, esta revisión se limitará a los medios tecnológicos. Se incluye en este grupo la posibilidad o no de acceso a red, los recursos hardware existentes, o las licencias de software disponibles.

Por cada uno de los factores contemplados en el diagrama de contexto se recogerán una o varias propiedades, cada una de las cuales dispondrá de un nombre, una descripción breve y un valor. Además, se indicará si el factor condiciona al contexto instructivo, al contexto de la aplicación, o a ambos contextos.

### Directrices de elaboración

El diagrama de contexto tiene por objeto la descripción de los elementos externos al sistema que influyen en el desarrollo del mismo. Esta definición, cuando expone claramente el propósito del diagrama de contexto puede ocasionar errores a la hora de elaboración el artefacto; en particular, el concepto *elementos externos* resulta impreciso o muy abierto, ocasionando dos tipos de errores: (1) El diagrama de contexto puede convertirse en una especie de «cajón desastre» utilizado para representar toda aquella información que puede ser de interés para el analista pero que no encaje en otro artefactos más restrictivos o precisos; y (2) Confundir la definición de requisitos con el diagrama de contextos, convirtiendo a este último en una mera definición de las necesidades de los interesados. A fin de evitar estos errores es necesario respetar una serie de directrices que guíen la elaboración el diagrama de contexto:

- Plasmar únicamente aquellos factores englobados dentro de los tipos establecidos en la descripción del diagrama de contexto. En caso contrario, puede caerse en el error de especificar información que pueda ser significativa para el proyecto pero que no condiciona ni el proceso instructivo ni la forma de utilización del sistema.
- El diagrama de contexto describe dos tipos de realidades: la situación de partida y el comportamiento esperado del sistema. Respecto a la situación de partida, se trata de información relevante que condiciona la etapa de diseño y que, por tanto, debe incluirse en el diagrama. En lo que respecta al comportamiento esperado debe evitarse tratar el diagrama de contexto como un mero catálogo de requisitos. Para ello, el diagrama no sólo debe recopilar información sino que debe detallarla y especificarla a fin de explicar los factores recopilados con precisión.
- Identificar en primer lugar los factores referidos al contexto instructivo y completarlos con los factores del contexto de la aplicación. De esta forma, se garantizará que la información recopilada tiene relevancia para el proceso instructivo y, en consecuencia, para el desarrollo de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador.

Por defecto, y en caso de duda, se debe anteponer la obtención de un diagrama de contexto correcto y consistente a la elaboración de un modelo contextual completo.

## II. El diagrama de entidades

El *diagrama de entidades* es el artefacto software encargado de especificar el modelo estructural de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador. El diagrama de entidades refleja aquellas entidades significativas del sistema, exponiendo las relaciones entre las mismas y los atributos o propiedades que caracterizan a cada entidad. Al referirse al término *entidad significativa* pueden surgir dudas sobre qué debe considerarse como una entidad significativa y cuales son las condiciones para considerar a un concepto del dominio como tal. En el caso de la instrucción, tal y como se expuso con anterioridad, es posible establecer un modelo de análisis específico formado por los objetivos educativos, el perfil del alumno, los contenidos, las actividades instructivas y el entorno o contexto instructivo. El último de estos elementos, el entorno, hace referencia al contexto de aplicación del sistema y no al sistema en sí mismo, siendo su definición responsabilidad del diagrama de contexto. En lo que se refiere a las actividades instructivas, estas establecen la funcionalidad u operativa del sistema, motivo por el cual su especificación será responsabilidad de los artefactos específicos concebidos para la definición del modelo funcional. El resultado será un artefacto que especificará la estructura de los objetivos, los contenidos y los participantes en el proceso de instrucción asistida por ordenador.

### Propósito del artefacto

El propósito del diagrama de entidades es establecer la semántica del sistema, precisando la información definida por el modelo de dominio e identificada en la configuración el sistema. La definición del diagrama de entidades permite:

- Establecer el lenguaje del sistema. El diagrama de entidades concreta las abstracciones representadas por los diagramas de conceptos y características del dominio, estableciendo el lenguaje específico del sistema.
- Reflejar la estructura del sistema. El diagrama de entidades no sólo refleja las entidades significativas del sistema, sino que establece la forma de relación entre entidades.

El diagrama de entidades proporciona una vista estática del sistema; es decir, se centra en la organización lógica de las entidades del sistema, ignorando su comportamiento durante la ejecución de los distintos procesos del sistema.

### Descripción del artefacto

El diagrama de entidades refleja la organización lógica del sistema en base a sus entidades significativas. El resultado es un artefacto software compuesto por dos elementos o bloques estructurales:

- Entidad. El principal bloque estructural del diagrama lo constituyen las entidades. Una entidad representa un elemento del sistema encargado de almacenar o gestionar el flujo de información del sistema. Durante la fase de análisis, las entidades se refieren a aquellos conceptos, recursos o entes abstractos que participan el proceso instructivo soportado por el sistema. Posteriormente, en la fase de diseño, estas entidades se tratarán como componentes software, recursos instructivos o individuos concretos que interactúan con el sistema.

Las entidades se representarán como un rectángulo dividido en tres zonas: la superior indicará el nombre de la entidad, la central los atributos o propiedades que caracterizan a la entidad, y la inferior las operaciones habituales de la entidad. La definición de atributos y operaciones no es obligatoria, únicamente se incluirán cuando se trata de información significativa que contribuya a la adecuada especificación del problema.

- Relación. Las relaciones muestran la conexión o correspondencia existente entre dos entidades del diagrama. Una relación determina que las dos entidades asociadas colaboran o intervienen conjuntamente en el desempeño de alguna operativa del sistema.

Las relaciones se representan trazando líneas rectas entre las entidades relacionadas. En los extremos de las líneas se indicará la cardinalidad o multiplicidad de la relación; es decir, el número de elementos del tipo indicado que intervienen en la relación. También se pueden definir propiedades de la relación que permiten especificar bajo que circunstancias la asociación tiene sentido u objeto.

La notación utilizada en el presente trabajo para representar el diagrama de entidades se recoge en las figuras 4.9 y 4.10. La sintaxis propuesta se basa en la notación empleada por Chen [26] para la definición de modelos entidad-relación.



Elemento	Descripción	Ejemplo
Entidad	Elemento del sistema encargado de almacenar o gestionar el flujo de información del sistema	<div><div>Class1</div><div>- Attribute1 :int</div><div>+ Operation1 () :int</div></div>
Relación	Correspondencia existente entre dos entidades representadas en el diagrama	<div>0..11..1</div>

Figura 4.9: Sintaxis del diagrama de entidades

Elemento	Descripción	Ejemplo
Exactamente una	Una instancia de la entidad “Class1” está relacionada con una y sola una instancia de la entidad “Class2”	<div><div>Class1</div><div>1..1</div><div>Class2</div></div>
Cero o más	Una instancia de la entidad “Class1” está relacionada con cero o muchas instancias de la entidad “Class2”	<div><div>Class1</div><div>0..*</div><div>Class2</div></div>
Uno o más	Una instancia de la entidad “Class1” está relacionada con una o muchas instancias de la entidad “Class2”	<div><div>Class1</div><div>1..*</div><div>Class2</div></div>
Cero o uno	Una instancia de la entidad “Class1” está relacionada con una o ninguna instancia de la entidad “Class2”	<div><div>Class1</div><div>0..1</div><div>Class2</div></div>

Figura 4.10: Multiplicidad de las relaciones del diagrama de entidades

Aunque la notación propuesta permite la representación de todo tipo de entidades, el desarrollo de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador tienen una serie de peculiaridades que permiten limitar el tipo y naturaleza de la información a representar en el modelo estructural. El resultado es un modelo conceptual que establece los tres tipos de entidades principales que deben especificarse en el diagrama de entidades del sistema:

- **Contenidos.** Los contenidos hace referencia al conjunto de saberes estructurados que desean transmitirse al alumno. Los contenidos se tratarán como colecciones de unidades de información relacionadas con determinados objetivos instructivos.
- **Objetivos.** Los objetivos instructivos son el factor esencial que determina la forma de instrucción soportada por el sistema. Esta condición lleva a tratar los objetivos o necesidades educativas como requisitos del sistema, permitiendo delimitar con precisión el alcance del sistema; sin embargo, dada su relevancia, la mera enumeración de objetivos puede ser insuficiente para especificar el problema. El diagrama de entidades ofrece una definición precisa de los objetivos instructivos, clasificándolos y asociándolos con otras entidades significativas del sistema.

Los objetivos instructivos suelen dividirse en tres grupos: psicomotrices, afectivos y cognitivos. Los dos primeros grupos tienen que ver con un cambio en el comportamiento o actitud de los alumnos, con lo que su desarrollo requiere un contacto físico y una proximidad difícilmente alcanzable con los medios tecnológicos disponibles. Por este motivo, el método ComBLA se centrará en los objetivos cognitivos. Los objetivos cognitivos están relacionados con la percepción y la transmisión de información, pudiéndose clasificar en: (1) Conocimiento. El alumno adquiere o aprende una información específica; (2) Comprensión. Entender el sentido y forma de trabajo de una realidad; y (3) Aplicación. El alumno adquiere la capacidad para aplicar una regla, principio o conocimiento. Por cada uno de los objetivos, además del tipo, y tomando como ejemplo el modelo ASSURE [85], se proporcionará una descripción que establezca el propósito del objetivo, el grado de cumplimiento deseado y las condiciones en las cuales debe alcanzarse el objetivo.

- **Actores.** Habitualmente, los modelos de desarrollo de sistemas para la instrucción realizan un estudio de los participantes en el proceso de instrucción como paso previo al diseño del mismo. Este análisis se limita al estudio del perfil del alumno y, en ocasiones, a las características de los instructores. En el caso de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador, dado que el proceso es soportado por un sistema informático, es necesario considerar un tercer grupo de participantes encargados de gestionar y administrar el sistema.

El modelo refleja otros tipos de entidades que, a pesar de no ser habituales en los modelos de diseño de la instrucción, tienen gran relevancia en el desarrollo de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador: los servicios del sistema y los recursos instructivos. Respecto a los servicios se describirá su utilidad, si el servicio es instructivo o de soporte, asíncrono o síncrono, y si es proporcionado por alguno de los medios tecnológicos disponibles. En el caso de los recursos, se indicará si el recurso se basa o no en un soporte digital, si es un recurso habitual en el dominio del sistema, así como el tipo de recurso: de evaluación, prueba o pensado para la transmisión de conocimientos. La definición de servicios y recursos forma parte más bien de la definición de la solución que de la especificación del problema; por este motivo, su inclusión en el diagrama de entidades debe tratarse como una mera sugerencia basada en la experiencia recopilada por el modelo de dominio. La inclusión de servicios y recursos en el diagrama de entidades anticipa la búsqueda de componentes reutilizables a la etapa de definición del sistema, ofreciendo referencias o recomendaciones a los diseñadores instructivos.

### **Directrices de elaboración**

La elaboración del diagrama de entidades toma como referencia la información plasmada en la configuración del sistema. Una vez revisados los requisitos del sistema, y tras haberlos cotejado con el modelo del dominio, se dispone de un modelo de características que establece el modelo de partida del sistema. A partir de la configuración del sistema es posible describir las entidades significativas del sistema. La tarea de elaboración del diagrama de entidades se centrará en identificar las características de interés, ordenarlas, clasificarlas y representarlas de acuerdo a la notación establecida.

### III. El catálogo de casos de uso

El *catálogo de casos de uso* es el principal artefacto software utilizado por el método ComBLA para la especificación de la funcionalidad de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador. La definición de casos de uso es una herramienta muy común en la especificación de sistemas software, especialmente en la metodología orientada a objetos. Los casos de uso ofrecen una visión de las acciones del sistema desde el punto de vista de los usuarios, e ignorando el comportamiento interno del sistema como respuesta o resultado de la acción. Una ventaja de los casos de uso es que permiten especificar cualquier operativa realizada mediante un sistema software, centrándose en la descripción del escenario y sin entrar en aspectos técnicos o de bajo nivel. En el caso del método ComBLA, dos son los factores que han motivado la utilización de casos de uso para especificar la funcionalidad del sistema:

- Los sistemas para la instrucción se caracterizan por la gran interacción existente entre los actores y el propio sistema. Normalmente, las actividades de los alumnos conllevan una interacción con el sistema, ya sea para consultar materiales, resolver ejercicios, realizar evaluaciones, etc. Esta situación se repite en el caso de instructores y administradores del sistema. Los casos de uso son una herramienta especialmente concebida para especificar la interacción de los actores con el sistema y, por tanto, muy útil al analizar sistemas de aprendizaje asistido por ordenador.
- Los casos de uso ya han sido utilizados como herramienta para definir el proceso instructivo [90], mostrando su utilidad y validez. Incluso en aquellos métodos de desarrollo de software para la instrucción [3, 122] en los cuales no se utiliza expresamente el concepto de casos de uso, se recurre a una definición de acciones o actividades instructivas que se asemeja bastante a la especificación proporcionada por los casos de uso.

Los siguientes apartados describen en detalle el sentido y utilidad de los casos de uso en el contexto del desarrollo de sistemas para la instrucción asistida por ordenador, exponiendo la plantilla de definición propuesta, así como una serie de recomendaciones que deben guiar su elaboración.

### **Propósito del artefacto**

El propósito principal del catálogo de casos de uso es especificar la funcionalidad de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador. La especificación de la funcionalidad mediante casos de uso persigue dos objetivos secundarios:

- Disponer de un mecanismo que permite especificar tanto las operaciones de soporte como las actividades instructivas. La intención es unificar la forma de especificación de las operativas del sistema en un único tipo de artefacto software, sin emplear diagramas y dando preferencia a la definición de los escenarios sobre otros elementos.
- Los casos de uso, al no describir el comportamiento interno del sistema, son una herramienta muy adecuada para comunicarse con individuos con escasos conocimientos informáticos, como pueden ser docentes, expertos del dominio de la instrucción o los propios diseñadores instructivos. Esta característica se ve potenciada por el hecho de que la definición del caso de uso se realiza en lenguaje natural, de acuerdo a una plantilla previamente especificada y sin utilizar una notación específica.

El catálogo de casos de uso proporciona un medio para especificar la funcionalidad del sistema centrándose en la forma de interacción, dejando a un lado la definición del comportamiento interno del sistema y de los aspectos computacionales que pueden dificultar la comprensión del escenario definido.

### **Descripción del artefacto**

El catálogo de casos de uso está formado por una colección de casos de uso, cada uno de los cuales describe una acción correspondiente a una operación de soporte o a una actividad instructiva que requiera una interacción con el sistema. Por cada caso de uso se completa una plantilla que describe la acción, el tipo, los actores implicados, las precondiciones y el flujo de eventos básico y alternativo de la acción. En el caso de las acciones instructivas también se indicará el propósito instructivo de la acción, los resultados esperados, el tiempo necesario para su realización y, en caso de ser conocidos, los recursos utilizados durante su ejecución. La figura 4.11 recoge un ejemplo de plantilla de definición de casos de uso de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador.

Caso de uso			
Identificador	Código xx.xx	Nombre Nombre del caso de uso	Tipo Instructivo/ Soporte
Descripción	Descripción del caso de uso en lenguaje natural		
Actores	Principal Inicia la acción	Implicados Interviene en el flujo de eventos	
Precondiciones	Descripción, en caso de uso, de las circunstancias previas a la realización del caso de uso		
Propósito	Objetivos formativos a alcanzar mediante la realización del acción		
Tiempo	Duración Tiempo disponible	Realización Dedicación estimada del alumno	
Recursos	Campo opcional. Enumeración de los recursos necesarios para la realización de la acción		
Proceso	Secuencia de eventos realizados durante la ejecución de la acción correspondiente al caso de uso		

Figura 4.11: Plantilla de definición de un caso de uso

Todas las acciones del sistema, ya se correspondan con actividades propias del proceso instructivo o operaciones de soporte del sistema, comparten una serie de propiedades que deben formar parte de la plantilla de definición de los casos de uso. Se incluye en este grupo las siguientes propiedades:

- Descripción. La descripción ofrece una visión general sobre la utilidad y sentido de la acción. El campo proporciona una breve definición de la acción, indicando su función, circunstancias y condiciones de realización.
- Tipo. El tipo hace referencia al sentido último de la acción; es decir, si forma parte de las actividades propias del proceso instructivo o si resulta de la necesidad de utilizar, gestionar o administrar un sistema informático. En el primer caso, las acciones se catalogarán como *acción instructiva*, y en el segundo como *acción de soporte*. La entrega de ejercicios por parte de un alumno se tratará como una acción instructiva, mientras que la acción de autenticarse en el sistema o de publicar materiales en la aplicación se considerarán como acciones de soporte.
- Actores. Se identifica como tal a los participantes en el flujo de eventos propio de la acción. Se considerarán dos tipos de actores: (1) Principal. Referido al individuo que inicia la interacción. Se corresponderá con un alumno, instructor o administrador del sistema; y (2) Implicados. Receptor de alguno de los eventos de la acción. Normalmente, se corresponderá con un alumno o instructor.
- Precondiciones. Exposición de las situaciones o circunstancias previas a la realización de la acción. Por ejemplo, se expondrá como precondición la necesidad de completar otra acción antes de ejecutar la presente, si la acción se ejecuta sólo en un determinado contexto o si implica unos conocimientos previos.
- Proceso. Secuencia de eventos llevados a cabo durante la ejecución de la acción. El proceso define la forma de interacción de los actores con el sistema, describiendo el flujo de información establecido entre los mismos. La especificación del caso de uso requiere la definición del flujo de eventos básico, aquel que se ejecuta en condiciones normales, y los posibles flujos alternativos, aquellos ejecutados en caso de error o fallo.

Una acción instructiva, por definición, está asociada a un proceso instructivo y, por tanto, a unos objetivos formativos determinados alcanzados mediante unos medios específicos. Por tanto, a la hora de especificar las acciones instructivas del sistema no es suficiente con describir sus condiciones de ejecución, sino que es necesario exponer cómo y porqué se realiza la acción. Tomando como ejemplo la actividad de «análisis de tareas» del modelo de Kemp [102] y la definición de actividades instructivas de MISA [122], se han establecido una serie de propiedades adicionales que deben completarse al especificar una acción instructiva:

- **Propósito.** Se establecen los objetivos formativos que se pretenden alcanzar mediante la realización de la actividad. Los objetivos enumerados deben corresponderse con los establecidos en el alcance del sistema.
- **Tiempo.** Establece dos tipos de medidas temporales: la duración sugerida de la actividad y el tiempo estimado para su realización. La primera de las medidas sugiere cuánto tiempo deberá transcurrir desde el inicio hasta el final de la actividad, mientras que la segunda propone la dedicación mínima del alumno para la correcta realización de la actividad.
- **Recursos.** Campo opcional. Descripción de los recursos necesarios para la realización de la actividad. La descripción de los recursos utilizados por la actividad permiten fijar la atención sobre el tipo de componentes instructivos necesarios para el desarrollo del sistema, estableciendo las bases para la reutilización de componentes. La descripción de los recursos utilizados por la actividad se basará en el conocimiento representado por el modelo del dominio instructivo al cual pertenece el sistema: la conjunción del modelo de características y la reglas de negocio establecen que recursos son los más habituales para una determinada actividad en el dominio instructivo analizado.

El resultado final debe ser una especificación lo suficientemente completa como para facilitar la labor de los diseñadores. En el caso de los diseñadores instructivos, podrán utilizar los casos de uso para decidir el método instructivo más adecuado y secuenciar las distintas actividades instructivas. Por su parte, los diseñadores de sistema utilizarán los casos de uso para conocer las operativas del sistema y diseñar los componentes del mismo.



### Directrices de elaboración

El aspecto más relevante de un caso de uso es la especificación de la forma de interacción con el sistema; es decir, la definición del proceso asociado a la acción. A la hora de establecer el proceso es recomendable seguir una serie de directrices [32]:

- Los eventos deben redactarse de manera sencilla, sin emplear figuras literarias, y dando preferencia a la explicación de la forma de interacción. Los eventos se escribirán como *Sujeto-Verbo-Objeto directo* añadiendo, opcionalmente, el *Objeto indirecto* de la tarea.
- La redacción de los eventos debe expresar claramente quién inicia la interacción y quién actúa como receptor de la misma. Así, por ejemplo, el evento "*El instructor publica el resultado de la evaluación*" debería expresarse como "*El instructor proporciona a los alumnos el resultado de la evaluación*". A fin de explicar la interacción con el sistema, la abstracción *Sistema* podrá utilizarse como iniciador y receptor del evento.
- El evento se redactará desde la perspectiva de un observador independiente, y no centrándose en el punto de vista del iniciador o el receptor. Por ejemplo, el evento "*Se publica el resultado de la evaluación*", redactado desde el punto de vista del instructor, puede resultar inconsistente.
- Los eventos deben redactarse con un alto nivel de abstracción, prescindiendo de cualquier detalle que tenga que ver con la forma de interactuar con el sistema. Por ejemplo, el evento "*El alumno entrega al instructor la memoria*" se consideraría como correcto; sin embargo, la redacción "*El alumno entrega al instructor la memoria utilizando el hipervínculo correspondiente*" se debería considerar como errónea.
- El proceso únicamente debe reflejar tareas sensibles. El proceso no debe recoger todos los pasos de la acción, sino únicamente aquellos eventos imprescindibles para la comprensión de la acción.

El resultado será una definición fácilmente verificable por los interesados del sistema, que ofrezca una explicación precisa a los diseñadores y que no requiera de conocimientos técnicos para su comprensión.

## IV. El diagrama de actividades

El *diagrama de actividades* permite especificar la funcionalidad de un sistema para la instrucción mediante la definición de las operativas o procesos instructivos soportados por el sistema. El diagrama de actividades complementa al catálogo de casos de uso permitiendo la adecuada especificación del modelo funcional del sistema.

### Propósito del artefacto

Uno de los potenciales problemas del modelado del sistema es el empleo de artefactos incorrectos o incompletos que impidan la adecuada definición del sistema. En el caso de la funcionalidad del sistema, la especificación realizada vendrá condicionada por el elemento de descomposición funcional utilizado. Así, por ejemplo, los casos de uso describen el problema desde el punto de vista de las operaciones ejecutadas por los actores del sistema, dejando de lado la definición a alto nivel del proceso instructivo. El diagrama de actividad permite solventar esta limitación, complementando al catálogo de casos de uso y ofreciendo una visión general de la funcionalidad del sistema. El diagrama de actividad tiene por objeto:

- Describir el proceso de instrucción. El diagrama de actividades determina la secuencia de actividades del proceso instructivo. El proceso instructivo puede contener tanto operativas del sistema que intervienen en el proceso como actividades instructivas independientes al sistema.
- Describir la funcionalidad de manera independiente a las entidades significativas del sistema. El diagrama de actividad representa únicamente la secuencia de actividades del proceso, mostrando las dependencias entre las mismas, pero sin identificar los recursos utilizados o los participantes en el proceso.

Gracias a su flexibilidad, los diagrama de actividades permiten describir cualquier flujo de información u operativa del sistema; no obstante, en el caso del método ComBLA, y dadas las peculiaridades del dominio de la instrucción, los diagramas de actividades se utilizarán únicamente para modelar a alto nivel el proceso instructivo soportado por el sistema.

### **Descripción del artefacto**

El diagrama de actividades permite definir el proceso instructivo soportado por el sistema. La definición se centra en la especificación de la secuencia de actividades que conforman el proceso, dejando de la lado la descripción del flujo de información existente entre los participantes del proceso. De acuerdo a esta restricción, el diagrama de actividades se fundamenta en dos elementos estructurales básicos:

- **Actividad.** Una actividad se corresponde con un conjunto de operativas ejecutadas con un propósito instructivo específico. Una actividad no tiene por objeto representar el comportamiento del sistema, sino la operativa propia del proceso de negocio.
- **Flujo de control.** El flujo de control determina el orden o secuencia de ejecución de las actividades del proceso instructivo. El diagrama de actividad permite plasmar tanto el flujo habitual de actividades como las posibles alternativas al mismo, ya sea por decisión de los posibles participantes o como consecuencia de condiciones externas al proceso.

Dada la simplicidad conceptual de los diagramas de actividades, el aspecto más interesante de los mismos tiene que ver con la notación utilizada para representar el proceso instructivo. La figura 4.12 muestra la sintaxis utilizada para la definición de diagramas de actividades.

### **Directrices de elaboración**

La elaboración del diagrama de actividades implica identificar y organizar las actividades instructivas del proceso. Esta labor de organización implicar secuenciar las actividades, lo que puede entenderse como una tarea propia de los diseñadores instructivos y, por tanto, un cometido ajeno a la etapa de análisis. Por este motivo, los diagramas de actividades únicamente se elaborarán en tres situaciones:

- **Automatizar cursos ya diseñados.** En ocasiones, al elaborar un sistema de aprendizaje asistido por ordenador únicamente se procede a automatizar un proceso instructivo bien definido. En este caso, el diagrama de actividades plasma el proceso ofreciendo su definición a los diseñadores.

- Interesados con experiencia. En aquellas situaciones en las cuales los interesados se corresponden con instructores con experiencia el diagrama de actividades permite plasmar sus requisitos en cuanto a la forma de organizar y secuenciar las actividades instructivas.
- Requisitos administrativos u organizativos. Un ejemplo de esta situación se encuentra en aquellos cursos en los cuales se fija como requisito iniciar la formación con una prueba de evaluación que permita determinar el nivel de conocimientos de los alumnos.

El diagrama de actividades debe tomarse como una parte o vista de la especificación de las condiciones problema, no como una propuesta de solución. La definición definitiva del proceso soportado por el sistema debe corresponder a los diseñadores instructivos involucrado en el proceso de desarrollo.

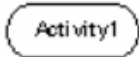




Elemento	Descripción	Ejemplo
<b>Actividad</b>	Conjunto de eventos propios de una determinado individuo o entidad ejecutadas con un propósito instructivo determinado	
<b>Nodo inicial</b>	Indicación del inicio del proceso representado por el diagrama de actividades	
<b>Nodo final</b>	Indicación del final del proceso representado por el diagrama de actividades	
<b>Decisión</b>	Nodo que determina posibles caminos de ejecución del proceso en función de una determinada condición	
<b>Flujo de control</b>	El flujo de control determina la secuencia de ejecución de las actividades del proceso instructivo representado por el diagrama de actividades	

Figura 4.12: Sintaxis del diagrama de actividades

## V. El diagrama de secuencia

El *diagrama de secuencia* representa el flujo de información que se establece entre las distintas entidades que intervienen en el proceso instructivo. El diagrama de secuencia, a diferencia del diagrama de actividades, no especifica el proceso instructivo a alto nivel sino que define el comportamiento de las actividades significativas.

### Propósito del artefacto

Un sistema para el aprendizaje se caracteriza por la interacción existente entre los participantes en el proceso instructivo, alumnos e instructores, y los contenidos y recursos del sistema. Esta interacción resulta aún más significativa en el caso de un sistema asistido por ordenador, en el cual el intercambio de información debe atenerse a unas pautas y reglas previamente establecidas. En esta situación, es necesario disponer de una descripción precisa del intercambio de información que se produce entre las entidades significativas del sistema.

### Descripción del artefacto

El diagrama de secuencia muestra de manera ordenada la secuencia de mensajes intercambiados durante una actividad del sistema. A fin de mostrar este flujo de información, el diagrama de secuencia se representa mediante los siguientes elementos:

- Actor. Individuo que interactúa con el sistema durante la ejecución de una actividad, ya sea instructiva o de soporte.
- Objeto. Instancia de una entidad significativa del sistema, sin considerar los actores, que participa en una actividad instructiva. Los objetos se corresponden con medios, recursos o contenidos concretos.
- Mensaje. Información intercambiada entre un actor y una instancia, o entre dos instancias, durante la ejecución de una actividad.

La sintaxis utilizada para representar los diagramas de secuencia se muestra en la figura 4.13. Junto a los componentes esenciales del diagrama, se refleja la notación utilizada para representar el periodo temporal durante el cual un objeto o actor tiene significación en el sistema.


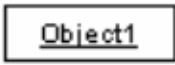

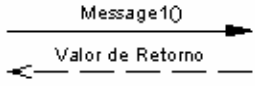
Elemento	Descripción	Ejemplo
<b>Actor</b>	Individuo que interactúa con el sistema	
<b>Objeto</b>	Instancia de una entidad significativa del sistema que participa en una acción del sistema	
<b>Línea de Vida</b>	Representación temporal del periodo de vida de un actor u objeto en la acción representada	
<b>Mensajes</b>	Información intercambiada entre un actor y una instancia, o entre dos instancias, durante la ejecución de una acción del sistema	

Figura 4.13: Sintaxis del diagrama de secuencia

### Directrices de elaboración

El diagrama de secuencia, como el diagrama de actividades, puede considerarse como un artefacto software con un propósito muy específico, motivo por el cual no debe utilizarse de manera indiscriminada. Los diagramas de secuencia no están concebidos para establecer el comportamiento de todas las operativas del sistema, sino únicamente para especificar aquellas actividades que dada su complejidad y relevancia pueden condicionar el diseño del sistema. La elaboración de los diagramas de secuencia de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador debe tomar como referencia la definición de casos de uso. A partir del catálogo de casos de uso, se seleccionarán aquellas actividades en las cuales exista un flujo de información complejo, especificando el intercambio de mensajes y la interacción entre las distintas entidades que intervienen en la operativa.

### 4.3. El proceso de análisis

El proceso de análisis hace referencia al acto y efecto de examinar los hechos y fenómenos que constituyen el problema que se pretende resolver. La forma de estudio, y el tipo de tareas realizadas durante esta actividad, condiciona en gran medida la corrección y eficacia de un método de análisis:

- *Un método de análisis debe contemplar la especificación de todas aquellos factores que determinan tanto el comportamiento como la funcionalidad del producto software.*

El proceso de análisis debe proporcionar actividades que permitan delimitar el alcance del sistema y establecer con claridad, y desde distintos puntos de vista, las características del mismo.

- *Un método de análisis debe contemplar la especificación del proceso de negocio que determina y condiciona el desarrollo del producto software.*

El proceso de análisis debe proporcionar actividades que permitan estudiar el dominio de interés, así como delimitar y especificar un modelo de negocio que represente el problema satisfecho por el sistema.

- *Un método de análisis permite abstraer la realidad, especificando únicamente la información relevante para la comprensión del problema.*

La labor de abstracción se corresponde con la operación de separar las cualidades de un objeto a fin de considerarlas aisladamente. Esta tarea de refinamiento requiere de un proceso que permita estudiar la realidad sin obviar los aspectos significativos del problema.

La relevancia de estos factores justifica el examen pormenorizado de la forma en la cual acomete el método ComBLA el tratamiento del problema. El examen se plantea de manera descendente: se inicia con la revisión de la forma de estudio del problema, estableciendo aquel que mejor se adapta a las características de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador, para continuar con la exposición del proceso de análisis seleccionado.

### 4.3.1. El estudio del problema

El análisis de la realidad requiere de un proceso que sistematice el estudio del problema, descartando aspectos intrascendentes y centrándose en sus factores esenciales. El adecuado estudio del problema requiere de una doble actividad: por un lado, en una labor conocida como análisis regresivo, se determinan las causas o motivaciones del problema; por otro, como resultado del conocido como análisis resolutivo, se establecen los principios o elementos constitutivos del mismo. En el caso del análisis de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador esta doble actividad se corresponde con las siguientes labores:

- El carácter regresivo del análisis se corresponde con el estudio de las causas del problema; es decir, con la comprensión y descripción del problema instructivo que motiva el desarrollo de un sistema para la instrucción.
- El carácter resolutivo se corresponde con el estudio de los factores que intervienen en el problema; es decir, con la división y especificación de las distintas vistas del sistema software que asisten el proceso de aprendizaje.

El resultado debe ser un proceso de análisis que asegure la completitud del método de análisis. El proceso de análisis definido debe ser capaz de estudiar tanto los aspectos instructivos como las características del sistema software que asiste el proceso instructivo, explicando tanto las causas como los fundamentos del sistema.

### La ejecución del análisis

Al referirnos al desarrollo de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador, el estudio del problema está íntimamente ligado con la noción de modelo de proceso del software. Se entiende por modelo de proceso del software:

*"Software process models represent a networked sequence of activities, objects, transformations, and events that embody strategies for accomplishing software evolution. Such models can be used to develop more precise and formalized descriptions of software life cycle activities."*



En contraste con el «ciclo de vida del proceso de desarrollo», un modelo de proceso no es una mera exposición de las labores a realizar, sino una definición de las actividades que intervienen en el proceso, su relación y evolución. Un modelo de proceso debe adecuarse al tipo de sistema y a las particularidades del contexto de aplicación; así, y referidos al desarrollo de software para la instrucción, un modelo de proceso debe satisfacer las siguientes restricciones [83]:

- El modelo de proceso debe ser una herramienta útil para todos los participantes en el proceso de desarrollo: docentes, diseñadores instructivos, analistas y diseñadores del sistema.
- El modelo de proceso debe ser evolutivo, con retroalimentación a las fases anteriores, de manera que permita gestionar el cambio y evolución habitual en el proceso instructivo.
- El modelo de proceso debe permitir el rápido desarrollo y utilización del sistema. En general, los sistemas para el aprendizaje se caracterizan por un tiempo de desarrollo bastante reducido, siendo necesario un modelo de proceso que permita obtener un producto adecuado en breve plazo.
- El desarrollo de software para la instrucción está basado en la reutilización de componentes, siendo necesario un modelo de proceso que facilite la labor de búsqueda e identificación de recursos reutilizables.
- El modelo de proceso debe prestar especial atención al análisis del entorno educativo. La comprensión de los factores ambientales que condicionan el aprendizaje son de vital importancia para el correcto desarrollo del sistema.
- Finalmente, el modelo de proceso debe incorporar mecanismos de validación que garanticen que los aspectos pedagógicos e instructivos han sido correctamente considerados.

A resultas de estas restricciones, los modelos de proceso convencionales (como, por ejemplo, el modelo en cascada o modelo en espiral) han demostrado su escasa utilidad para el desarrollo de software para la instrucción [83], siendo necesario acudir a aproximaciones más flexibles como el desarrollo iterativo o el desarrollo en fases.

Un modelo de proceso del software establece las pautas de desarrollo de un producto software. La concreción de estas pautas se delega en una metodología que proporcione las técnicas y mecanismos específicos para la implementación del modelo de proceso definido. En el caso de la propuesta de solución, el mecanismo de análisis definido se basa en la aplicación del análisis de dominios al campo de la enseñanza asistida por ordenador. El análisis de dominios permite mejorar el estudio de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador por su carácter sistemático [56], evolutivo [5] y centrado en la reutilización de componentes. [99, 125].

El análisis de dominios se basa en el estudio previo del dominio de aplicación del sistema, describiendo sus características mediante la elaboración de un modelo de dominio. A partir de este modelo de dominio y de los requisitos de usuario, el análisis del sistema se encarga de especificar las necesidades y condiciones del sistema software a desarrollar. De acuerdo con esta forma de trabajo, el proceso de análisis definido por el método ComBLA divide el estudio del problema en dos etapas:

- Elaboración del modelo de dominio. Se realiza el estudio de los aspectos comunes a los sistemas del dominio. A partir de fuentes de información confiables, se procede a la identificación y clasificación del conocimiento intrínseco a un dominio instructivo. El resultado de la actividad es un modelo de dominio que representa el conocimiento del dominio instructivo delimitando, por tanto, el espacio del problema.
- Elaboración del modelo de sistema. Se realiza el estudio de las condiciones y necesidades de un problema específico. El método proporciona una serie de tareas que, tomando como referencia el modelo de dominio previamente elaborado, permite sistematizar el estudio del sistema software que asistirá el aprendizaje. El resultado de esta actividad será un modelo de sistema que representará las condiciones y necesidades del problema.

La realización de ambas etapas sólo es necesaria cuando nos enfrentamos al análisis de un sistema en un dominio instructivo nuevo o desconocido. En la mayor parte de las ocasiones, se trabajará sobre dominios ya estudiados y, por tanto, no será necesaria la elaboración del modelo de dominio.

### Las alternativas a la solución propuesta

La búsqueda de alternativas al mecanismo de análisis propuesto se basará en la revisión de técnicas y paradigmas de análisis que satisfacen algunas de las premisas establecidas en el capítulo de planteamiento del problema. En particular, se considerarán aquellos premisas que condicionan la forma de estudio del problema:

- *Sistemático. Un proceso de análisis sistemático se caracteriza por la definición rigurosa de las actividades que conforman el proceso. La sistematización del análisis lleva aparejada una menor relevancia de la experiencia en el proceso de desarrollo.*

La sistematización del análisis requiere de un proceso bien organizado y estructurado que establezca una secuencia de actividades adecuadas. Una de las herramientas más habituales para la obtención de métodos de análisis sistemáticos pasa por la aplicación del análisis estructurado.

- *Evolutivo. Un proceso de análisis evolutivo permite realizar aproximaciones sucesivas al problema como medio para alcanzar una especificación adecuada del mismo. El análisis evolutivo se basa en la realización de sucesivas versiones de un mismo artefacto.*

El carácter evolutivo del método ComBLA reside en la elaboración de sucesivos modelos que representen las necesidades y condiciones del problema. Los modelos elaborados se refinan sucesivamente hasta obtener la validación de expertos e interesados. Una alternativa habitual a esta forma de trabajo la constituye la técnica de prototipado y su modelo de proceso basado en la elaboración de sucesivos prototipos del sistema.

- *Prescriptivo. Un proceso de análisis prescriptivo (desde el punto de vista de la reutilización) proporcionará las pautas que permitan la elaboración de soluciones genéricas y basadas en la reutilización de componentes.*

El diseño por reutilización se basa en el estudio de dominios aislados a fin de identificar y representar los aspectos comunes a los sistemas del dominio. En el caso del método ComBLA, el diseño por reutilización se basa en el empleo del análisis de dominios como paradigma de análisis. Como alternativa a esta solución se propone utilizar el análisis orientado a objetos y su filosofía de diseño para la reutilización.

### Elaboración de prototipos

El proceso de análisis está encaminado a la obtención de una especificación del problema que permita conocer las necesidades y condiciones del problema. El proceso de definición del sistema se puede afrontar desde dos perspectivas:

- El modelado del sistema. El proceso de análisis se basa en la elaboración de un modelo que represente el sistema a desarrollar.
- La simulación del sistema. El proceso de análisis se basa en la elaboración de sucesivas versiones incompletas del sistema.

En ambos casos, el proceso de análisis permite obtener una definición del sistema, pero con diferencias en cuanto al grado de detalle o el tipo de elementos representados. El proceso de análisis basado en la simulación del sistema, también conocida como «elaboración de prototipos», ha tenido gran significación en distintas áreas de ingeniería, habiendo sido profusamente utilizada en el desarrollo de sistemas de información [88]. La elaboración de prototipos se basa en el desarrollo sucesivo e incremental de prototipos del sistema final, entendiendo un prototipo como una versión del sistema que, aunque limitado de algún modo, puede utilizarse con fines de evaluación [24]. El proceso de análisis basado en la simulación del sistema ha tenido una especial relevancia en el desarrollo de la enseñanza asistida por ordenador, llevando a algunos autores a considerar la elaboración de prototipos como la técnica ideal para la especificación de sistemas software para la instrucción:

*"Prototyping is becoming a dominant mode of design and development, especially because it allows producers to share with the client the projected «look and feel» of the courseware."*

P. Goodyear [72]

Ejemplos de modelos de automatización de la instrucción basados en prototipos se pueden encontrar en los trabajos de Friedler & Shabo [61], Tripp & Bichelmeyer [150] o Witt & Wager [154]. Se trata, por tanto, de una técnica habitual del proceso de análisis de sistemas software para la instrucción.

Sin embargo, a pesar de su significación, un estudio más detallado de la elaboración de prototipos revela algunas de las carencias que presenta esta forma de trabajo. La evaluación del proceso de análisis basado en la elaboración de prototipos se basará en los criterios definidos por Alan Dennis para la elección de una metodología de desarrollo [42]. La figura 4.14 muestra de manera resumida una comparativa entre distintas formas de trabajo de acuerdo a estos criterios de selección.

Ability to Develop Systems	Structured Methodologies			RAD Methodologies	Agile Methodologies	
	Waterfall	Parallel	Phased	Prototyping	Throwaway Prototyping	XP
with Unclear User Requirements	Poor	Poor	Good	Excellent	Excellent	Excellent
with Unfamiliar Technology	Poor	Poor	Good	Poor	Excellent	Poor
that are Complex	Good	Good	Good	Poor	Excellent	Poor
that are Reliable	Good	Good	Good	Poor	Excellent	Good
with a Short Time Schedule	Poor	Good	Excellent	Excellent	Good	Excellent
with Schedule Visibility	Poor	Poor	Excellent	Excellent	Good	Good

Figura 4.14: Criterios para la selección de una metodología de desarrollo [42]

El proceso de análisis basado en la elaboración de prototipos presenta indudables ventajas desde el punto de vista de la definición de los requisitos del sistema:

- Validación de la especificación. La posibilidad de crear una versión reducida del sistema facilita la comunicación con los usuarios y, en consecuencia, la validación de las necesidades y condiciones del sistema.
- Refinamiento de la especificación. La elaboración de prototipos se caracteriza por la evaluación y refinamiento constante. A partir de la información suministrada por el interesado, se elabora un prototipo del sistema final. Una vez desarrollado el prototipo, se somete al juicio de los interesados, clientes o usuarios del sistema final, utilizando las opiniones recopiladas como referencia para la elaboración de la siguiente versión. El proceso se repite sucesivamente hasta obtener el beneplácito de los destinatarios del sistema.

En el lado opuesto, la elaboración de prototipos se caracteriza por la ausencia de un análisis detallado [42], motivando ciertas carencias que lastran su utilidad en el proceso de análisis de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador:

- Estudio de tecnologías. La elaboración de prototipos se basa en la realización de sucesivas versiones incompletas del sistema, centrándose en el comportamiento y forma de interacción del usuario con el sistema. Esta forma de trabajo impide un análisis riguroso de las tecnologías, servicios o componentes disponibles, lo que constituye una desventaja considerable en el caso de los sistemas de aprendizaje asistido por ordenador.
- Complejidad del sistema. Un sistema complejo, en cuya especificación intervienen distintas perspectivas, como es el caso de los sistemas para la instrucción, requiere una fase de análisis detallada y precisa. La elaboración de prototipos se centra en la especificación del sistema, ignorando aquellos factores externos que pueden condicionar el desarrollo del sistema. En el caso del desarrollo de sistemas para la instrucción, tal y como se recogió en los principios del modelo de proceso, el estudio de los factores externos es una labor esencial del proceso de análisis.
- Fiabilidad del sistema. La fiabilidad de un sistema está relacionada con el estudio del dominio de aplicación y el conocimiento certero del proceso de negocio soportado por el sistema. Un proceso de análisis basado en la mera simulación del sistema carece de medios adecuados para analizar el dominio de aplicación [42].

Una última limitación no recogida en los criterios definidos por Alan Dennis hace referencia a la incapacidad de un proceso de análisis basado en la elaboración de prototipos para definir los requisitos del sistema cuando se trata con interesados poco avezados, sin experiencia o sin una idea nítida del tipo de curso que se desea elaborar. En resumen, la técnica de elaboración de prototipos puede resultar muy útil como herramienta para comprender el comportamiento del sistema, pero su uso debe limitarse a situaciones muy específicas y como herramienta de soporte (modelo de proceso conocido como *Throwaway prototyping*) empleada dentro de un método de desarrollo más elaborado.

### **El análisis estructurado**

El análisis estructurado es una técnica de análisis de sistemas de información basada en el modelado del sistema. Se trata de una técnica de análisis muy extendida, utilizada con éxito en distintos contextos y proyectos, que ha demostrado su utilidad para estudiar y especificar un sistema software. El análisis estructurado presenta dos características que lo convierten en una alternativa interesante para el estudio de sistemas para la instrucción asistida por ordenador:

- La sistematización del análisis. El análisis estructurado define un conjunto de artefactos software que permiten disponer de un modelo de análisis claro y preciso. La sistematización del análisis permite reducir la relevancia de la experiencia en la definición del sistema.
- El modelado de procesos. El análisis estructurado propone la descomposición funcional del sistema en base a procesos y flujos de datos. Puesto que el proceso de instrucción se basa en la realización de sucesivas actividades de enseñanza y aprendizaje, y que buena parte de estas actividades implican un flujo de información, un modelo de análisis basado en procesos puede contribuir de manera decisiva a la comprensión del problema.

La principal restricción del análisis estructurado se encuentra en el origen mismo de la técnica de análisis: el análisis estructurado fue concebido para el estudio de aplicaciones de procesamiento de datos. La naturaleza de este tipo de sistemas ha condicionado la filosofía de trabajo del análisis estructurado, proponiendo un mecanismo de análisis caracterizado por:

- Proceso lineal. El análisis estructurado suele asociarse al modelo de proceso en cascada, el cual carece de elementos de retroalimentación que permitan mejorar progresivamente el proceso de especificación.
- Escasa reutilización. El proceso de análisis no recoge actividades que permitan la reutilización: ni medios para la identificación de aspectos comunes ni tareas para la definición de elementos genéricos.

Estas limitaciones entran en colisión con algunos de los objetivos y principios definidos para el método ComBLA, lo que ha motivado el rechazo de esta alternativa de análisis.

### **El análisis orientado a objetos**

El análisis orientado a objetos especifica los requisitos del sistema mediante un conjunto de modelos que representan las clases y objetos presentes en el vocabulario del dominio. Se trata, por tanto, de una técnica de análisis de sistemas de información basada en el modelado del problema. El análisis orientado a objetos surgió a principios de los años noventa, convirtiéndose desde ese momento en una referencia en el campo del desarrollo de software. La prevalencia del análisis orientado a objetos como técnica de análisis de sistemas viene motivada, en gran medida, por su capacidad para promover la reutilización de componentes [10, 31]. Tal y como se ha expuesto en varias ocasiones a lo largo de esta tesis doctoral, la reutilización es un factor esencial del desarrollo de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador y uno de los objetivos que impulsaron el presente trabajo de investigación; sin embargo, el análisis orientado a objetos presenta ciertas características que reducen su eficacia desde el punto de vista de la reutilización. Los métodos tradicionales de análisis orientado a objetos [18, 42, 93, 107, 135] contemplan la especificación de cada sistema de manera independiente, lo que plantea limitaciones desde el punto de vista de la reutilización de experiencias [35]:

- No es posible disponer de un modelo que represente la variabilidad y los aspectos comunes de los sistemas del dominio.
- Se excluye el estudio de aspectos de implementación o tecnologías empleadas en el dominio, lo que condiciona la reutilización de componentes.
- El análisis orientado a objetos únicamente contempla la conocida como reutilización vertical o diseño para la reutilización, no el estudio de factores comunes que promuevan la reutilización de recursos ya existentes.

Incluso en aquellos métodos de análisis orientado a objetos que contemplan la definición de un modelo de dominio [15, 127] existen limitaciones relacionadas con el propio paradigma de desarrollo. El análisis orientado a objetos propone la definición de la realidad en base a clases de negocio, lo que en determinadas contextos, como el contexto educativo, no es una herramienta útil para identificar las características del dominio. La reutilización basada en clases es una herramienta útil para identificar componentes del sistema, como los objetos de aprendizaje, pero resulta inadecuada para la reutilización de servicios o actividades.



La tabla 4.6 resume el estudio de los distintos métodos de análisis revisados. El resumen toma en consideración los tres factores principales que han orientado el proceso de selección: el primero de ellos, la reutilización, ya se contempló en el estudio de alternativas de modelado por ser uno de los objetivos fundamentales del presente trabajo; los otros dos, el modelo de proceso y la forma de especificación, hacen referencia a la manera en la cual se aborda el estudio del problema. Como puede observarse en la tabla, el análisis de dominios se caracteriza por ser una herramienta especialmente concebida para fomentar la reutilización de componentes. Al mismo tiempo, proporciona un proceso de análisis sistemático, evolutivo y basado en características, lo que permite describir contextos en los cuales las actividades de negocio tienen un valor preponderante sobre las entidades del problema.

<b>Modelo de proceso</b>	Alternativas			
	Alt.1	Alt.2	Alt.3	Alt.4
Sistemático	✓	×	×	×
Evolutivo	×	×	✓	×

<b>Forma de especificación</b>	Alternativas			
	Alt.1	Alt.2	Alt.3	Alt.4
Basado en modelado	✓	×	✓	✓
Técnica de modelado	Caracte- rísticas	N/A	Flujos de datos	Clases negocio

<b>Orientado a reutilización</b>	Alternativas			
	Alt.1	Alt.2	Alt.3	Alt.4
Contexto aislado	✓	×	×	×
Representa especificidad	✓	×	×	✓
Diseño descendente	✓	×	×	✓

[Leyenda]	
Alt.1 - Análisis de dominios	Alt.2 - Elaboración de prototipos
Alt.3 - Análisis estructurado	Alt.4 - Análisis orientado a objetos

Tabla 4.6: Resumen de alternativas para el proceso de análisis

### 4.3.2. El análisis del dominio

El análisis del dominio es la actividad encargada de estudiar un determinado dominio instructivo a fin de obtener un modelo de dominio. De manera general, el proceso de análisis del dominio requiere la consecución de tres objetivos [124]:

- Delimitar el dominio. Se establece el alcance del dominio, fijando con la mayor precisión posible el ámbito de interés.
- Consultar las fuentes de información. Una vez delimitado el dominio es necesario recopilar y consultar las fuentes de información. Un análisis adecuado requiere del empleo de distintas fuentes que permitan cotejar la información considerada.
- Describir el dominio. El tercer objetivo se corresponde con la identificación, clasificación y representación de las cualidades que caracterizan el dominio. La forma en la cual se describe el dominio dependerá del mecanismo de descomposición funcional utilizado.

Dependiendo del método definido estos objetivos se abordarán mediante una secuencia de pasos u otra, estableciendo las actividades específicas del proceso. En el caso del método ComBLA, el proceso de análisis del dominio consta de:

- La identificación del dominio. El primer paso del proceso es reconocer el dominio instructivo sobre el cual se realiza la tarea de análisis.
- La delimitación del dominio. La actividad establece el alcance del dominio, fijando sus límites e identificando posibles fuentes de información.
- El modelado del dominio. El objetivo primordial del proceso de análisis del dominio es la elaboración de un modelo que represente las características específicas del dominio.
- La comprobación del modelo. El modelo de dominio sirve como entrada del proceso de definición del sistema, motivo por el cual es necesario garantizar su corrección. La comprobación se basará en la confrontación del modelo con las fuentes de información previamente identificadas.

Las tablas 4.7, 4.8 y 4.9 recogen de manera resumida los productos y actividades del proceso de análisis del dominio, así como la relación entre las mismas. Esta información servirá como introducción a la explicación detallada de las actividades del proceso de análisis del dominio.

#### **Productos del análisis del dominio**

Pto.1.1	Documento de identificación del dominio Documento redactado en lenguaje natural en el cual se indica la denominación del dominio, su definición y los criterios empleados para su selección
Pto.1.2	Documento de contexto Documento redactado en lenguaje natural en el cual se recogen las fuentes de información del dominio, la terminología habitual en el mismo, una breve descripción de los contenidos y la forma de instrucción
Pto.1.3	Diccionario del dominio Artefacto software encargado de definir el vocabulario del dominio instructivo analizado. El diccionario del dominio se expresa mediante una sintaxis normalizada
Pto.1.4	Diagrama de conceptos Artefacto software encargado de representar la semántica del dominio en base a sus conceptos y relaciones entre los mismos. Un concepto representa una generalización de una actividad o entidad que intervienen en el proceso de desarrollo de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador
Pto.1.5	Diagrama de características Artefacto software encargado de representar las propiedades específicas de los conceptos del dominio. Las características se representan agrupadas por facetas de interés: (1) Funcionalidad; (2) Entorno operativo; (3) Técnicas de implementación; y (4) Tecnologías del dominio
Pto.1.6	Reglas de negocio Las reglas de negocio definen una serie de criterios de composición que amplían el conocimiento definido por las relaciones de los diagramas de características. Las reglas de negocio actúan como un complemento a los diagramas de características, incrementando la consistencia del modelo de dominio
Pto.1.7	Informe de validación Documento redactado en lenguaje natural en el cual se certifica la aceptación o no del modelo de dominio y, en caso negativo, el listado de errores encontrados en el mismo

Tabla 4.7: Productos del proceso de análisis del dominio del método ComBLA

---

**Actividades del análisis del dominio**


---

Act.1.1	<p>La identificación del dominio</p> <p>La identificación del dominio es la actividad inicial del proceso de análisis del método ComBLA. La actividad es responsable de establecer el ámbito o contexto instructivo de interés</p> <p>Tareas: Determinar la disciplina, fijar la forma de instrucción, proponer un dominio instructivo y validar el dominio propuesto</p>
Act.1.2	<p>La delimitación del dominio</p> <p>La actividad de delimitación del dominio es responsable de fijar los límites de un dominio instructivo a fin de establecer el espacio del contexto instructivo a analizar</p> <p>Tareas: Recopilar información sobre el proceso instructivo y los sistemas para la instrucción del dominio, elaborar el documento de contexto</p>
Act.1.3	<p>El modelado del dominio</p> <p>El modelado del dominio es la actividad principal del proceso de análisis del dominio. La actividad desarrolla una serie de tareas encaminadas a obtener un modelo de dominio que describa el dominio instructivo de interés</p> <p>Tareas: Definir el vocabulario del dominio, representar los conceptos del dominio, elaborar el diagrama de características y definir las reglas de negocio</p>
Act.1.4	<p>La comprobación del modelo</p> <p>La comprobación del modelo es la actividad encargada de validar y verificar el modelo de dominio generado por las actividades previas del proceso. La comprobación se basará en las opiniones, juicios y comentarios de expertos del dominio</p> <p>Tareas: Identificar expertos, comprobar el vocabulario del dominio, comprobar la semántica del dominio y comprobar las distintas configuraciones del dominio</p>

---

Tabla 4.8: Actividades del proceso de análisis del dominio del método ComBLA

## I. La identificación del dominio

La *identificación del dominio* es la actividad inicial del proceso de análisis del método ComBLA. La actividad es responsable de establecer el ámbito o contexto instructivo de interés. La identificación del dominio es una actividad esencial de los métodos de análisis de dominios; sin embargo, no existen reglas fijas que permitan identificar el dominio de manera precisa en todas las situaciones. Una ventaja de proponer un método para un dominio de aplicación concreto, como es el contexto de la enseñanza asistida por ordenador, es la posibilidad de establecer o precisar ciertas tareas que, en otro caso, quedarían abiertas a la interpretación de los analistas del dominio. A continuación, se describe la actividad haciendo especial hincapié a aquellas particularidades de los dominios instructivos.

Actividades	Act. Anterior	Act. Posterior	Pto. Entrada	Pto. Salida
Act.1.1	-	Act.1.2	-	Pto.1.1
Act.1.2	Act.1.1	Act.1.3	Pto.1.1	Pto.1.2
Act.1.3	Act.1.2	Act.1.4	Pto.1.2	Pto.1.3
				Pto.1.4
				Pto.1.5
				Pto.1.6
Act.1.4	Act.1.3	-	Pto.1.3	Pto.1.7
			Pto.1.4	
			Pto.1.5	
			Pto.1.6	

Tabla 4.9: Relación entre actividades y productos del análisis del dominio

## Objetivos

El objetivo del problema viene dado por la misma denominación de la actividad: identificar el dominio instructivo de interés. Los límites del dominio se refinan progresivamente a lo largo del proceso de análisis del dominio; sin embargo, la actividad de identificación del dominio es esencial para establecer un ámbito de trabajo inicial sobre el que asentar las sucesivas actividades del proceso.

## Precondiciones

Al tratarse de la primera actividad del proceso de análisis no existen precondiciones o circunstancias de obligado cumplimiento. La actividad se acometerá en aquellos casos en que se desee realizar un análisis del dominio como mecanismo para facilitar el análisis de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador.

## Tareas

La forma de trabajo habitual de los métodos de análisis de dominios consiste en fijar las áreas de interés y los aspectos definitorios del dominio, refinando y extendiendo progresivamente el alcance del problema hasta fijar de manera concluyente los límites del dominio. La primera etapa del proceso pasa por la elección de focos de interés del dominio y la definición de criterios de selección.

Tal es la relevancia de estas acciones que algunos métodos, como el método ODM [141], establecen tareas específicas encargadas de estas labores. El problema de los métodos genéricos de análisis de dominios es que definen el propósito de estas tareas y ofrecen recomendaciones sobre las mismas, pero no pueden concretar estas recomendaciones en situaciones o contextos concretos. En el caso del dominio de la instrucción es posible tomar como referencia la literatura sobre el diseño instructivo para establecer claramente qué se entenderá por dominio, cuales son los criterios de selección y las áreas de interés de un dominio instructivo.

La literatura sobre análisis de dominios [35, 141] tiende a diferenciar entre dos tipos de dominios: dominios verticales y dominios horizontales. En el primero de los casos, se toma como dominio un ámbito de aplicación, un tipo de funcionalidad resuelta mediante sistemas que comparten ciertas particularidades. Ejemplos de dominios verticales serían las aplicaciones bancarias o los sistemas de control de tráfico aéreo. En el segundo caso, los dominios horizontales, un dominio se corresponde con un tipo de operativas consideradas en distintas aplicaciones. Por ejemplo, se consideran como dominios horizontales los sistemas de gestión de base de datos o los gestores de ventanas. El método ComBLA, tal y como se deduce de la definición recogida en el apartado 4.1.3, considera un dominio instructivo como un dominio vertical. Por tanto, a la hora de establecer el alcance del dominio, el factor diferenciador será el tipo de instrucción que se pretende realizar, no los medios o recursos educativos utilizados en el proceso de instrucción. La revisión sobre la teoría del diseño instructivo muestra la existencia de dos factores que condicionan el tipo de instrucción: (1) El paradigma educativo utilizado; y (2) La disciplina o materia impartida. El primero de estos factores fija los principios o reglas sobre la manera de aprendizaje de los individuos. Estos principios establecen una clasificación sobre las teorías y modelos instructivos, delimitando el tipo de escenarios educativos considerados en el dominio. De esta manera, se debe considerar como dominios instructivos diferentes aquellos basados en paradigmas instructivos distintos. El segundo factor se centra en la naturaleza de los contenidos. Diferentes disciplinas implican distintos contenidos, los cuales a su vez condicionan la estrategia organizativa, los objetivos instructivos o las condiciones de la instrucción. La formación en una disciplina concreta debe considerarse como un tipo de funcionalidad a resolver y, por tanto, como un dominio instructivo específico.

Tomando como referencia las premisas expuestas, la actividad de identificación del dominio abarca las siguientes tareas:

1. Determinar la disciplina. Mediante la revisión de los contenidos a impartir se determina la disciplina implicada. Para determinar la disciplina se recomienda utilizar catálogos bibliográficos y glosarios de materias.
2. Fijar la forma de instrucción. Se realiza una revisión del tipo de instrucción que se desea realizar: polarizada en la labor del instructor o del estudiante. A partir de esta revisión se establece el paradigma educativo de interés.
3. Proponer un dominio instructivo. La unión de la disciplina y del paradigma educativo establece una serie de escenarios educativos específicos. La suma de estos escenarios conforma el dominio instructivo de interés.
4. Validar el dominio. Se consulta con expertos docentes y diseñadores instructivos la validez y coherencia del dominio identificado.

Estas tareas deben acometerse siempre que se realice el análisis de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador, tanto si el sistema se incluye en un dominio instructivo ya conocido como si pertenece a un dominio nunca analizado. En el primer caso, las tareas identifican el modelo de dominio de interés; en el segundo caso, las tareas prefijan el dominio instructivo a modelizar.

## Productos

En el desarrollo de sistemas software se entiende por producto cualquier artefacto software obtenido como resultado de la realización de una tarea, actividad o proceso. En el caso de la identificación del dominio, el producto de la actividad será una descripción en lenguaje natural que incluya: (1) La denominación del dominio. De ser posible, se tomará como denominación la utilizada en algún catálogo bibliográfico, glosario de materias o literatura sobre diseño de la instrucción; (2) La definición del dominio. La definición no debe ser muy extensa pero sí lo suficientemente precisa como para reconocer el dominio considerado; (3) Los criterios de selección. Disciplina implicada y forma de instrucción considerada; y (4) La forma de validación empleada. Perfil de los expertos y grado de conocimiento del dominio. La estructura del documento de identificación del dominio se muestra en la tabla 4.10.

## Documento de identificación del dominio

<b>Denominación del dominio</b>
<i>[Denominación del dominio. Servirá como referencia durante el análisis]</i>
<b>Definición del dominio</b>
<i>[Definición breve del dominio instructivo identificado]</i>
<b>Criterios de selección del dominio</b>
<i>[Disciplina implicada]</i> <i>[Forma de instrucción considerada]</i>
<b>Formas posibles de validación del dominio</b>
<i>[Perfil de los expertos identificados]</i> <i>[Grado de fiabilidad de la información proporcionada por cada experto]</i>

Tabla 4.10: Estructura del documento de identificación del dominio

**II. La delimitación del dominio**

La actividad de *delimitación del dominio* es responsable de fijar los límites de un dominio instructivo a fin de establecer el espacio del contexto instructivo a analizar. La delimitación del dominio se puede considerar como la primera actividad del proceso de análisis del dominio del método ComBLA. La actividad de identificación del dominio debe realizarse en **todos los casos** que se desee emplear el método ComBLA como herramienta para el análisis de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador, tanto si el proceso de análisis implica elaborar un nuevo modelo de dominio como si no. Sin embargo, la delimitación del dominio únicamente se realizará en los casos en los que se desee estudiar un dominio instructivo para elaborar o refinar el modelo de dominio correspondiente.



## Objetivos

El propósito de la delimitación del dominio es definir el alcance del dominio instructivo de interés. La actividad fija con la mayor precisión posible los límites del dominio instructivo, estableciendo la naturaleza y condiciones de los posibles escenarios educativos a considerar. Consecuencia de la definición del alcance, se realizan una serie de tareas que permiten cubrir otros objetivos del proceso de análisis:

- Recopilar información sobre el dominio. Se revisan las fuentes de información establecidas para el estudio de dominios instructivos, recopilando aquella información significativa o específica del dominio. Las fuentes de información de referencia se detallan en el apartado 4.1.3.
- Establecer la terminología del dominio. Consecuencia de la revisión y estudio de las fuentes de información, se identifican una serie de términos o vocablos propios del dominio instructivo. Estos vocablos deben recopilarse para su posterior clasificación y definición.

La actividad de delimitación del dominio establece las bases para el posterior modelado del dominio instructivo. Por un lado, identifica las entradas de la actividad de modelado; por otro, acomete algunas de las tareas preliminares a la definición de la semántica del dominio.

## Precondiciones

La única condición para la realización de la tarea será conocer fehacientemente el dominio instructivo de interés. Conocer el dominio instructivo implica disponer de una breve definición del mismo, haber concretado los criterios de selección, y haber cotejado con expertos y diseñadores instructivos la validez del dominio. Esta situación se puede alcanzar mediante la ejecución de la actividad de identificación del dominio, o como resultado de la información proporcionada por los interesados.

## Tareas

La delimitación del dominio comprende el conjunto de tareas que permiten recopilar y documentar la información que define el alcance del dominio instructivo:

1. Recopilar información sobre el proceso instructivo. Se revisan las distintas fuentes de información, seleccionando información significativa sobre la forma de diseñar los procesos instructivos del dominio. Desgraciadamente, no es posible establecer normas certeras sobre la forma de recopilar la información. A pesar de esta limitación, se proponen una serie de pautas que pueden guiar la tarea de recopilación: (1) Revisar teorías del diseño y patrones de buenas prácticas. El objetivo es tener una visión general sobre la forma de diseñar los procesos instructivos correspondientes a la forma de instrucción considerada; (2) Educir información de expertos en el diseño de la instrucción. Se consulta a diseñadores instructivos sobre prácticas y métodos instructivos correspondientes a la forma de instrucción considerada; (3) Revisar documentación sobre el diseño de la instrucción de la disciplina. Se obtiene información sobre la manera de impartir o enseñar la disciplina considerada; y (4) Consultar a docentes de la disciplina. Se amplía la información recopilada en el paso anterior con consejos, experiencias y ejemplos aportados por docentes de la disciplina.
2. Recopilar información sobre sistemas instructivos. Se revisan distintas fuentes de información, seleccionando información significativa sobre la forma de implementar los procesos instructivos del dominio. Como en la tarea anterior, no es posible establecer normas fijas sobre la forma de recopilar la información; no obstante, se propondrán una serie de pautas de trabajo: (1) Establecer los destinatarios del sistema para la instrucción. Se realiza la clasificación y caracterización de los tipos de alumnos. (2) Recopilar información sobre los contenidos del dominio. Se revisan tanto sistemas asistidos por ordenador como cursos de formación de la disciplina para recopilar información sobre el tipo de contenidos a transmitir, así como sobre materiales didácticos y componentes instructivos disponibles; y (3) Recopilar información sobre medios tecnológicos. Se realiza una revisión de herramientas, plataformas instructivas y servicios que pueden dar soporte a un sistema del dominio.

Finalmente, se redacta un memorándum que resume la información recopilada en estas dos tareas. La actividad de delimitación del dominio respetará un proceso evolutivo; es decir, las tareas se repetirán hasta alcanzar la aprobación del documento de contexto por parte de interesados y expertos del dominio consultados.

## Productos

El alcance del dominio se establecerá mediante un documento que relate las particularidades del contexto analizado. El *documento de contexto* amplía la información del documento de identificación del dominio con los siguientes apartados: (1) Fuentes de información. Se enumeran las fuentes de información consultadas, su procedencia y tipo. Si es posible, se incluyen referencias bibliográficas a documentos de interés; (2) Terminología. Se enumeran los términos identificados durante la recopilación de información y cuyo significado sea desconocido; (3) Operativa. Se identifican contenidos habituales de la disciplina, perfil de los destinatarios, métodos y servicios instructivos utilizados en el proceso instructivo; y (4) Soporte. Se enumeran herramientas, plataformas y servicios de soporte habituales en el dominio. La estructura del documento de contexto se muestra en la tabla 4.11.

### Documento de contexto

Fuentes de información
<i>[Se enumeran las fuentes de información consultas]</i>
Terminología
<i>[Se enumeran los términos específicos identificados]</i>
Operativa
<i>[Contenidos de la disciplina]</i>
<i>[Perfil de los usuarios finales]</i>
<i>[Métodos y servicios del proceso instructivo]</i>
Soporte
<i>[Se enumeran los servicios y herramientas habituales en el dominio]</i>

Tabla 4.11: Estructura del documento de contexto

### III. El modelado del dominio

El *modelado del dominio* es la actividad principal del proceso de análisis del dominio. La actividad desarrolla una serie de tareas encaminadas a obtener un modelo de dominio que describa el dominio instructivo de interés. Respetando los principios definidos para el método ComBLA, la actividad vendrá identificada por el carácter sistemático y evolutivo del proceso: el modelo del dominio se elaborará de manera progresiva, incrementando el nivel de detalle en cada uno de los artefactos que conforman el modelo. La actividad partirá de la definición del vocabulario del dominio para terminar con la descripción precisa de la variabilidad del dominio.

#### Objetivos

El propósito de la actividad es elaborar un modelo de dominio que represente el conocimiento del dominio instructivo que condiciona el proceso de desarrollo de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador. Resultado de la elaboración del modelo de dominio se satisfacen una serie de objetivos secundarios:

- Describir el dominio. El modelo de dominio fija con claridad, precisión y exactitud la semántica de los conceptos y características del dominio instructivo. El modelo de dominio refleja las propiedades significativas del dominio, estableciendo relaciones y restricciones entre las mismas.
- Mejorar la comunicación. El modelo de dominio establece el lenguaje del dominio intuitivo y fácilmente comprensible por individuos sin experiencia en el desarrollo de sistemas.
- Mejorar el análisis del sistema. El modelo de dominio contribuye a mejorar la definición de un sistema asistido por ordenador desde tres puntos de vista: (1) Proporciona heurísticas que guían la definición del sistema; (2) Establece la variabilidad del dominio fomentando la reutilización de componentes; y (3) Ofrece un posible mecanismo de validación de la definición realizada.

El modelo de dominio delimita el espacio del problema, proporcionando distintas configuraciones del dominio que se concretarán en la definición del sistema.

### **Precondiciones**

El modelado del dominio puede realizarse únicamente en caso de cumplirse las siguientes condiciones: (1) Se ha establecido el alcance del dominio; (2) Se han identificado las fuentes de información; y (3) Se ha recopilado información de partida sobre las peculiaridades del dominio. En el caso del método ComBLA, estas precondiciones se resumen en la realización de la actividad de delimitación del dominio.

### **Tareas**

El modelado del dominio implica el conjunto de tareas que permiten elaborar los distintos artefactos que conforman el modelo de dominio:

1. Definir el vocabulario del dominio. A partir de la terminología recopilada durante la actividad de delimitación del dominio, se procede a la definición y clasificación de los términos. La elaboración del diccionario del dominio es la primera tarea de la actividad de modelado, lo que no implica que el diccionario debe completarse en su totalidad antes de continuar con el resto de tareas de la actividad. El diccionario del dominio se completa progresivamente, incorporando sinónimos y definiciones a lo largo de toda la actividad de modelado.
2. Representar los conceptos del dominio. La tarea toma como referencia el modelo conceptual propuesto en la sección 4.2.2. A partir de este modelo, y de los términos reflejados en el diccionario del dominio, se identifican los conceptos específicos del dominio instructivo considerado. Por cada concepto del diagrama se define su nombre, tipo, relaciones con otros conceptos y cualquier otra propiedad que resulte relevante para la comprensión del dominio.
3. Elaborar el diagrama de características preliminar. Se elabora un diagrama de partida que amplíe de forma arborescente el contenido del diagrama de conceptos. La tarea se realizará en tres pasos: (1) Se revisan cada uno de los conceptos recogidos en el diagrama de conceptos, analizando sus propiedades e identificando posibles valores de las mismas; (2) Se clasifican por facetas las características recopiladas, determinando la dependencia existente entre las mismas; y (3) Por cada faceta, se elabora un árbol de características que tenga como raíz los conceptos del dominio y como hijos sus propiedades y posibles valores de cada propiedad.

4. Completar el diagrama de características. A partir de la información recogida en el documento de contexto, se inicia el estudio de las realidades recogidas en el diagrama preliminar. En los casos que sea necesario, se extiende la descripción de los conceptos, ya sea añadiendo nuevas características o refinando las características ya representadas. El proceso se repite sucesivamente hasta tener una descripción que englobe todas las posibles configuraciones del dominio.
5. Recopilar reglas de negocio. A lo largo de las tareas de elaboración del diagrama de característica es posible identificar dependencias y restricciones entre características. En aquellos casos en que dichas relaciones no puedan expresarse mediante la notación, la estructura arborescente, del diagrama de características, se definirá una regla de negocio. La tarea final de la actividad de modelado se encarga de recopilar e inventariar todas estas reglas de negocio.

### Productos

El resultado de la actividad de modelado será una serie de artefactos software que permitan describir un dominio instructivo.

- Diccionario del dominio. El diccionario del dominio establece el vocabulario del dominio instructivo. El diccionario proporciona la definición de los vocablos de uso común en el dominio considerado.
- El diagrama de conceptos. El diagrama de conceptos representa la semántica del dominio instructivo en base a conceptos y relaciones entre los mismos.
- El diagrama de características. El diagrama de características extiende el diagrama de conceptos del dominio, representando las propiedades específicas de los distintos conceptos del dominio. El diagrama de características recoge la especificidad y variabilidad del dominio instructivo.
- La reglas de negocio. Criterios de composición que determinan las distintas configuraciones del dominio instructivo. Las reglas de negocio deben considerarse como restricciones entre características del dominio.

Para una explicación más detallada de los productos de la actividad se recomienda consultar el apartado 4.2.2.

#### IV. La comprobación del modelo

La *comprobación del modelo* es la actividad encargada de validar y verificar el modelo de dominio generado por las actividades previas del proceso. La comprobación se basará en las opiniones, juicios y comentarios de expertos del dominio. El carácter original del método ComBLA, y la ausencia de aproximaciones similares en el contexto de la enseñanza asistida por ordenador, limita la forma de validación del modelo de dominio. En la situación actual, la comprobación del modelo se limitará a examinar la estructura de los artefactos elaborados y a cotejar el contenido de los mismos con las opiniones de los expertos. La validación del modelo podrá enriquecerse en un futuro una vez se desarrollen ontologías de dominio que definan adecuadamente la semántica del contexto educativo.

##### Objetivos

La actividad de comprobación del modelo confirma la veracidad y corrección del modelo de dominio. La actividad tiene por objeto:

- La validación del modelo. Se comprueba si el modelo de dominio satisface los requisitos impuestos para la actividad de modelado; es decir, si describe adecuadamente el dominio instructivo. El modelo se considera válido si la información que representa es correcta y consistente.
- La verificación del modelo. Se comprueba si el modelo de dominio está libre de fallos; es decir, si los artefactos software que componen el modelo respetan la estructura establecida.

La comprobación del modelo pretende disponer de un modelo lo más preciso posible que guíe el proceso de análisis del sistema.

##### Precondiciones

La realización de la actividad requiere, por un lado, la existencia de un modelo de dominio y, por otro, la disponibilidad de expertos que puedan cotejar el modelo. El primer requisito se corresponde con la realización de la actividad de modelado del dominio, mientras que la segunda se basará en el documento de contexto redactado en la actividad de delimitación del dominio.

### Tareas

Como se ha comentado previamente, en esta primera versión del método no se ha planteado la posibilidad de formalizar o automatizar la comprobación del modelo de dominio. La actividad se limitará a revisar el contenido de los distintos artefactos software mediante la siguiente secuencia de tareas:

1. Identificar expertos. Entre los expertos consultados para recopilar información del dominio, se selecciona aquellos que por su experiencia y conocimientos pueden validar el modelo elaborado. El grupo de expertos seleccionados debe ser lo más heterogéneo posible, abarcando desde analistas de sistemas a docentes y diseñadores instructivos.
2. Comprobar el vocabulario del dominio. Se revisa el contenido del diccionario desde dos puntos de vista: (1) Completitud. El diccionario debe definir la terminología del dominio de la instrucción y los términos específicos del dominio instructivo considerado; y (2) Corrección. Se comprueban las definiciones de los términos específicos del dominio. En este punto únicamente se comprobarán las proposiciones sugeridas a modo de definición, no aquellas definiciones recopiladas de fuentes de información y, en consecuencia, certeras y exactas.
3. Comprobar la semántica del dominio. Por cada una de las facetas del desarrollo se comprueban los conceptos y características representados. La revisión tendrá en consideración la validez del concepto o característica, su adecuación a la faceta considerada y su relación con otras realidades del dominio.

Dado que los diagramas de conceptos y características son artefactos software muy específicos, cuya interpretación puede resultar compleja para legos en el desarrollo de software, la tarea debe estar guiada por un analista de dominio. Por cada faceta, el analista de dominio se reunirá con un conjunto de expertos, revisando uno a uno los distintos conceptos y características. Dependiendo de la faceta, se tomará en consideración la opinión de unos u otros expertos.

4. Comprobar configuraciones del dominio. Se revisan las reglas de negocio del dominio. Puesto que las reglas de negocio hacen referencia a la funcionalidad del sistema, al proceso de instrucción, la revisión de las mismas se hará únicamente con docentes y diseñadores instructivos.



Junto a estas tareas, como se muestra en la figura 4.15, se realizará una tarea transversal encargada de comprobar la estructura del modelo de dominio. La tarea se encargará de verificar que cada uno de los productos obtenidos en la actividad de modelado se adecua al modelo de información recogido en el anexo B de este trabajo. Un producto se considerará verificado si el documento XML que lo representa respeta el esquema XML correspondiente al tipo de artefacto software.

### Productos

El resultado de la actividad de comprobación será un informe que certifique la aceptación o no del modelo de dominio y, en caso negativo, el listado de errores encontrados en el mismo. El listado de errores se clasificará por el tipo de artefacto software revisado. Así, en el caso de la comprobación del vocabulario, se indicará qué términos deberían incluirse, cuales no deberían aparecer en el diccionario, qué vocablos están mal definidos y el porqué. En el caso del diagrama de características, se enumerarán las características incorrectas indicando si el problema es de su tipo (opcional, obligatorio o alternativo) o de la faceta en la cual se ha clasificado. Por último, en el caso de las reglas de negocio se inventariarán la reglas incorrectas indicando el motivo del error. Además, en todos los casos, se indicará si el artefacto respeta o no el modelo de información correspondiente.

La actividad de comprobación del modelo determina el fin del proceso de análisis del dominio. En caso de aceptarse el modelo revisado, se dará el proceso de análisis del dominio como concluido; en caso contrario, se deberá repetir la actividad de modelado hasta lograr la aceptación del modelo. En este segundo supuesto, el informe de certificación servirá como guía para refinar y corregir el modelo de dominio.

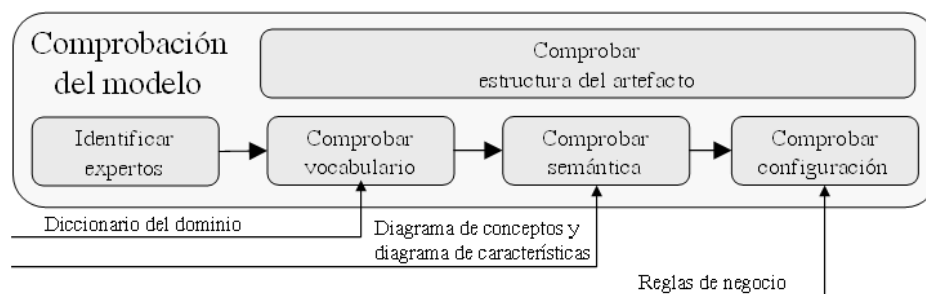


Figura 4.15: Tareas de la actividad de comprobación del modelo de dominio

### 4.3.3. El análisis del sistema

El análisis del sistema es la etapa del proceso de desarrollo encargada de superar la falla existente entre la identificación del problema y la definición de la solución. Frente a la etapa de obtención de requisitos, encargada de recopilar información sobre el problema que se pretende resolver, y la etapa de diseño, encargada de definir cómo se resolverá el problema, el análisis del sistema estudia las distintas perspectivas del problema a fin de elaborar un modelo, conocido como modelo de sistema, que especifique las necesidades y condiciones del sistema a desarrollar. El análisis del sistema proporciona a los diseñadores una visión preliminar del sistema.

El método ComBLA propone una fase de análisis del sistema encargada de definir un sistema de aprendizaje asistido por ordenador tomando como referencia el modelo del dominio instructivo al cual pertenece. De acuerdo con esta filosofía de trabajo, el proceso de análisis consta de las siguientes actividades:

- El alcance del sistema. El proceso se inicia con el estudio preliminar del sistema. El estudio pretende delimitar las necesidades del sistema, fijando tanto la situación de partida como el resultado esperado.
- La configuración del sistema. Se establece el conjunto mínimo de características que conforman la definición esencial del sistema. La elección de características se basará en el modelo de dominio elaborado en el proceso de análisis del dominio.
- La definición del sistema. La definición del sistema es la actividad principal del proceso de análisis del sistema. El objetivo primordial de la actividad es la elaboración de un modelo que especifique el problema instructivo a solventar y los requisitos del sistema software que asistirá el proceso instructivo.

Asimismo, cuando se desconozca el dominio instructivo de interés, y una vez establecido el alcance del sistema, será necesario ejecutar la actividad de identificación del dominio para, a partir de las necesidades recogidas, determinar el dominio instructivo al cual pertenece el sistema. Los siguientes apartados describen las actividades propias del análisis del sistema, excluyendo la actividad de identificación del dominio, la cual ya fue recogida en la exposición del análisis del dominio.

Las tablas 4.12, 4.13 y 4.14 recogen de manera resumida los productos y actividades del proceso de análisis del sistema, así como la relación entre las mismas. Esta información servirá como introducción a la explicación detallada de las actividades del proceso de análisis del sistema.

#### **Productos del análisis del sistema**

Pto.2.1	Documento de alcance del sistema Documento redactado en lenguaje natural en el cual se recopila el conjunto de factores y necesidades que determinan el tipo de sistema para la instrucción a desarrollar
Pto.2.2	Configuración del sistema Diagrama de características que represente la funcionalidad y operativa básica del sistema. El diagrama de características sigue la notación y estructura definida para los diagramas de características del dominio: las características del sistema se representarán como un grafo unidireccional estructurado en forma de árbol
Pto.2.3	Diagrama de contexto Artefacto software que especifica aquellos factores y condiciones que, siendo independientes tanto del comportamiento del sistema software como del proceso de aprendizaje, condicionan el desarrollo de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador
Pto.2.4	Diagrama de entidades Definición de las propiedades y relaciones de las entidades significativos del sistema. El diagrama de entidades define la organización lógica de las entidades del sistema
Pto.2.5	Catálogo de casos de uso Definición de las acciones del sistema. Se tratarán como casos de uso tanto las actividades instructivas como las actividades de soporte. Por cada acción se especificarán sus condiciones, actores implicados y objetivos perseguidos
Pto.2.6	Diagrama de actividades Definición del flujo de actividades del sistema. El diagrama de actividades define la funcionalidad del sistema en base a la secuencia de acciones del sistema y de manera independiente a la entidades que intervienen en el proceso
Pto.2.7	Diagrama de secuencia El diagrama de secuencia representa el flujo de información que se establece entre las distintas entidades que intervienen en el proceso instructivo. El diagrama de secuencia, a diferencia del diagrama de actividades, no especifica el proceso instructivo a alto nivel sino que define el comportamiento de las actividades significativas del sistema

Tabla 4.12: Productos del proceso de análisis del sistema del método ComBLA

---

**Actividades del análisis del sistema**


---

**Act.2.1 El alcance del sistema**

La definición del alcance del sistema es la actividad del proceso de análisis encargada de delimitar el tipo de sistema para la instrucción que se desea desarrollar. Para ello se realizará un esbozo de la situación deseada, detallando los aspectos que determinen la utilidad del sistema, y una revisión de la situación de partida.

Tareas: Identificar problema, recopilar requisitos, refinar requisitos y establecer requisitos finales

---

**Act.2.2 La identificación del dominio**

Actividad opcional del proceso de análisis del sistema. En aquellos casos que no se conozca de antemano el dominio instructivo de interés, se procederá a identificar el dominio siguiendo los pasos establecidos en el proceso de análisis del dominio

Tareas: Determinar la disciplina, fijar la forma de instrucción, proponer un dominio instructivo y validar el dominio propuesto

---

**Act.2.3 La configuración del sistema**

La actividad de configuración del sistema se encarga de establecer el conjunto mínimo de características que definen el sistema que se desea desarrollar. El conjunto de características se corresponderá con una de las posibles configuraciones del dominio instructivo al cual pertenece el sistema

Tareas: Definir el entorno instructivo, definir tareas instructivas, definir el entorno de despliegue, establecer la forma de implementación y completar el diagrama de características

---

**Act.2.4 La definición del sistema**

La definición del sistema es la actividad principal del proceso de análisis del sistema. La actividad contempla una serie de tareas encaminadas a obtener un modelo de sistema que especifique las necesidades y condiciones del sistema a desarrollar

Tareas: Establecer el contexto del sistema, definir el modelo estructural, definir la funcionalidad y el comportamiento del sistema

---

Tabla 4.13: Actividades del proceso de análisis del sistema del método ComBLA

## I. El alcance del sistema

La definición del *alcance del sistema* es la actividad del proceso de análisis encargada de delimitar el tipo de sistema para el aprendizaje asistido por ordenador que se desea desarrollar. Para ello se realizará un esbozo de la «situación deseada», detallando los aspectos que determinen la utilidad del sistema, y una revisión de la «situación de partida». El resultado será una enumeración de los factores y necesidades que condicionan el desarrollo del sistema.

Actividades	Act. Anterior	Act. Posterior	Pto. Entrada	Pto. Salida
Act.2.1	-	<i>Act.2.2</i> (*) <i>Act.2.3</i> (*)	-	Pto.2.1
Act.2.2	Act.2.1	Act.2.3	Pto.2.1	Pto.1.3 Pto.1.4 Pto.1.5 Pto.1.6
Act.2.3	<i>Act.2.1</i> (*) <i>Act.2.2</i> (*)	Act.2.4	Pto.2.1 Pto.1.5 Pto.1.6	Pto.2.2
Act.2.4	Act.2.3	-	Pto.2.2 Pto.1.3 Pto.1.4	Pto.2.3 Pto.2.4 Pto.2.5 Pto.2.6 Pto.2.7

(\*) Según sea conocido o no el dominio instructivo de interés

Tabla 4.14: Relación entre actividades y productos del análisis del sistema

## Objetivos

El objetivo de la actividad es establecer el alcance del sistema, definiendo las necesidades y condiciones del problema a resolver. El alcance de un sistema está determinado por dos factores: la funcionalidad del sistema de aprendizaje y el comportamiento esperado por el sistema software que asistirá el proceso instructivo. A continuación, se expondrán estos dos factores en detalle:

- Respecto al primer factor, la funcionalidad a resolver, el alcance del sistema dependerá del conjunto de acciones y operativas de negocio implementadas por el sistema. En el caso de los sistemas de aprendizaje asistido por ordenador, la funcionalidad se define de acuerdo al tipo de instrucción que se desea implementar. En particular, se considerarán las necesidades instructivas que motivan el proceso instructivo y los factores organizativos que condicionan su desarrollo.

- El segundo factor que condiciona el alcance del sistema es la definición de los requisito software que determinan la forma de utilización del sistema. Las necesidades de este tipo se considerarán desde dos puntos de vista: el entorno de despliegue y las operativas de soporte proporcionadas por el sistema. En el primero de los casos se considerarán restricciones sobre el desempeño del sistema; en cuanto a las operativas, se tendrá en cuenta la forma en la cual el sistema asistirá al proceso instructivo.

La suma de estas realidades delimita el problema a resolver, estableciendo el tipo de sistema para la instrucción que se desea disponer y las condiciones de utilización del sistema software que lo soporta.

### **Precondiciones**

La única precondición para la realización de la actividad será la existencia de una petición para la elaboración de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador. La petición vendrá dada por la necesidad de crear un nuevo sistema o adaptar un curso existente.

### **Tareas**

La tarea más significativa de la definición del alcance del sistema, y a su vez el aspecto más relevante para el propósito del trabajo, la constituye la definición de los objetivos formativos soportados por el sistema. La definición de las objetivos se realizará siguiendo la secuencia de pasos propuesta por el modelo de Kemp [117]:

1. Identificar problema. Se determina el problema o tarea formativa que motiva la realización del sistema.
2. Identificar objetivos. Se recopila la lista de objetivos formativos relacionadas con el problema identificado. Los objetivos formativos resumen el comportamiento de los futuros estudiantes.
3. Refinar objetivos. Se refinan los objetivos eliminando objetivos duplicados, combinando objetivos similares o detallando aquellos poco precisos.

4. Ordenar objetivos. Se establece la prioridad de cada objetivo en función de su relevancia para resolver el problema formativo. Los objetivos se ordenan de acuerdo a la prioridad establecida.
5. Refinar el análisis de objetivos. Se vuelven a refinar los objetivos verificando que las necesidades identificadas existen y los objetivos están relacionados con la tarea formativa.
6. Establecer objetivos finales. Se establece un listado final de objetivos. La definición de las necesidades instructivas debe ser suficientemente detallada como para determinar la disciplina implicada en la formación.

Una vez establecidos los objetivos formativos se identifican, enumeran y clasificación aquellos requisitos que tienen que ver con el contexto de aplicación y la forma de trabajo del sistema.

## **Productos**

El resultado de la definición del alcance del sistema será un documento que recopila el conjunto de factores y necesidades que determinan el tipo de sistema para la instrucción a desarrollar. El documento no necesita cumplir ninguna notación ni formato específico, aunque debe garantizarse la inclusión de la totalidad de la información indicada en el apartado de objetivos de la actividad. En concreto, el documento debe contener los siguientes apartados:

- Funcionalidad del sistema. Determina la forma de aprendizaje esperada del sistema para la instrucción. La funcionalidad se determinará de acuerdo a:
  - Necesidades instructivas. Se recopila el conjunto de necesidades formativas soportadas por el sistema. Entre las necesidades instructivas se incluirán los objetivos formativos que se desean alcanzar y el tipo de disciplina implicada.
  - Condiciones instructivas. Se identifican aquellas restricciones y condiciones relacionadas con el contexto instructivo en cual se desarrollará el proceso de aprendizaje.

- Condiciones del sistema software. Necesidades y condiciones independientes del proceso instructivo que determinan la forma de utilización del sistema software. Se incluirá en este grupo:
  - Requisitos operativos. Requisitos sobre el comportamiento y forma de trabajo esperada del sistema software.
  - Requisitos de desempeño. Descripción del entorno técnico y físico en cual se utilizará el sistema. Se incluirían en este grupo estimaciones sobre el volumen de datos a gestionar, disponibilidad del sistema o restricciones de seguridad.

El documento de definición del alcance del sistema tiene como misión principal delimitar el sistema y servir como entrada de la actividad de configuración. No obstante, dado que ofrece una descripción general de las necesidades del sistema, el documento puede utilizarse para establecer la viabilidad del proyecto. La estructura del documento de alcance del sistema se muestra en la tabla 4.15.

### Documento de alcance del sistema

Funcionalidad del sistema
<p>Necesidades instructivas</p> <p><i>[Conjunto de necesidades formativas soportadas por el sistema]</i></p> <p>Condiciones instructivas</p> <p><i>[Restricciones y condiciones relacionadas con el contexto instructivo]</i></p>
Condiciones del sistema software
<p>Requisitos operativos</p> <p><i>[Requisitos sobre el comportamiento y forma de trabajo del sistema]</i></p> <p>Requisitos de desempeño</p> <p><i>[Descripción del entorno técnico y físico en cual se utilizará el sistema]</i></p>

Tabla 4.15: Estructura del documento de alcance de sistema



## II. La configuración del sistema

La actividad de *configuración del sistema* se encarga de establecer el conjunto mínimo de características que definen el sistema que se desea desarrollar. El conjunto de características se corresponderá con una de las posibles configuraciones del dominio instructivo al cual pertenece el sistema.

### Objetivos

El propósito de la actividad de configuración del sistema es seleccionar un conjunto de características del dominio, delimitando el problema específico a resolver y estableciendo la configuración básica del sistema para el aprendizaje asistido por ordenador a desarrollar. Junto a este objetivo principal, la obtención de la configuración del sistema permite alcanzar una serie de objetivos secundarios:

- Valida los requisitos del sistema. La configuración del sistema se corresponderá con alguna de las posibles configuraciones del dominio, motivo por el cual es posible validar los requisitos del sistema contra el modelo del dominio instructivo.
- Mejora la definición del sistema. La configuración del sistema ofrece un esquema del sistema que sirve como orientación en la actividad de especificación. La consecuencia es una reducción en el tiempo necesario para especificar el sistema y una mejora en la completitud del modelo definido.
- Mejora la gestión del proyecto. Puesto que la configuración del sistema ofrece una visión simplificada del sistema es posible anticipar la toma de decisiones sobre la gestión del proyecto, como puede ser la estimación de costes, recursos o análisis de riesgos.

La configuración del sistema se puede considerar como la aportación más interesante del método ComBLA desde el punto de vista del análisis del sistema. Frente a otras alternativas, en las cuales la definición del sistema se limita a estudiar de manera secuencial una serie de aspectos genéricos de interés, la actividad de configuración del sistema proporciona un modelo preliminar que identifica los elementos de interés específicos del sistema analizado.

### Precondiciones

La configuración del sistema requiere la realización de dos labores cuyos productos se tomarán como entrada de la actividad de configuración:

- La definición del alcance del sistema. El alcance del sistema delimita el tipo de sistema, recopilando las necesidades o condiciones del sistema a desarrollar. Los requisitos del sistema se combinan con el modelo de dominio de dos maneras: por un lado, el modelo de dominio valida los requisitos comprobando su validez y corrección; por otro, los requisitos permiten seleccionar la configuración deseada.
- La elaboración de un modelo de dominio. El modelo de dominio es esencial para la actividad de configuración del sistema. El modelo de dominio proporciona un conocimiento normalizado, correcto y consistente que recopila la estructura de los sistemas del dominio. Este conocimiento sirve como referente y restricción de la posible configuración del sistema.

Tal y como se muestra a continuación, la configuración del sistema no puede establecerse en ningún caso sin la realización previa de estas actividades.

### Tareas

La configuración del sistema abarca los dos factores que condicionan el desarrollo de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador: el proceso instructivo satisfecho por el sistema y la forma de automatizar dicho proceso. De acuerdo con esta diferenciación, la actividad se dividirá en dos bloques de tareas:

- Proceso instructivo. Conjunto de tareas encargadas de recopilar información sobre aquellos elementos que condicionan la forma de instrucción.
- Automatización de la instrucción. Secuencia de tareas que permiten determinar los medios y recursos tecnológicos utilizados para el desarrollo y despliegue del sistema.

La combinación de ambos grupos de tareas proporciona una actividad de análisis que permite obtener un modelo de partida del sistema, básico pero completo.

En lo que se refiere a la forma de instrucción, la numerosa literatura existente sobre el diseño de la instrucción establece la pauta sobre los elementos a analizar. Como se ha expuesto en varias ocasiones a lo largo de esta tesis doctoral, el proceso instructivo viene condicionado por el perfil de los alumnos, los objetivos educativos, el método instructivo y la forma de evaluación [117]. A estos elementos deben añadirse la naturaleza de los contenidos y el entorno de trabajo como factores fundamentales que condicionan el proceso de desarrollo de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador. Sin embargo, y a pesar de la relación entre los mismos, no todos estos elementos deben ser analizados en conjunto durante la actividad de configuración del sistema. Así, por ejemplo, los objetivos educativos son considerados por el método ComBLA como el factor esencial para delimitar el sistema, motivo por el cual su revisión se realiza durante la actividad de definición del alcance del sistema. Por lo que respecta al método instructivo, un método implica priorizar y secuenciar una serie de actividades; por tanto, su definición forma parte de la labor de los diseñadores instructivos y queda fuera del ámbito de la etapa de análisis. De la misma manera, la forma de evaluación está condicionada por la estrategia instructiva, siendo su definición responsabilidad de la etapa de diseño. La combinación de estos preceptos y condiciones establece las premisas que debe satisfacer la actividad de configuración del sistema. El resultado será una actividad encargada de establecer la naturaleza y tipo de aquellos factores que condicionan el diseño de un sistema para la instrucción; es decir, una actividad centrada en la definición del tipo de alumno, los contenidos, las actividades instructivas y los conocimientos o aptitudes a evaluar. Respecto al orden de realización de estas tareas, la revisión realizada sobre la metodología de desarrollo de sistemas software para la instrucción nos ofrece un patrón de trabajo habitual en este tipo de métodos:

1. Definir el entorno instructivo. El análisis de sistemas para la instrucción se inicia habitualmente con el examen del entorno instructivo; en particular, el proceso de análisis comienza con el estudio del perfil del alumno y el contexto instructivo en el cual se utilizará el sistema [3, 117, 122]. Tomando como ejemplo esta forma de trabajo, la tarea selecciona las características de la faceta de *entorno operativo* del diagrama de características del modelo de dominio referidas al perfil del alumno y a los aspectos organizativos de la instrucción.

2. Definir las tareas instructivas. El segundo paso de la actividad de configuración del sistema revisa la faceta de *funcionalidad* del diagrama de características del modelo de dominio. La selección de características respetará la siguiente secuencia: (1) Contenidos. Se determinan los contenidos a transmitir por el proceso instructivo implementado por el sistema; (2) Actividades instructivas. En la medida de lo posible, y tomando como base las necesidades instructivas del sistema, se seleccionan las actividades instructivas y tareas formativas que formarán parte del proceso instructivo; y (3) Elementos evaluables. Se eligen los elementos o conceptos que serán evaluados a lo largo del proceso instructivo. La tarea de selección de características vendrá guiada a lo largo de todo el proceso por las relaciones del diagrama y las reglas de negocio del dominio.
3. Completar el diagrama. Una vez establecido el diagrama básico de características, se completa la configuración del sistema con conceptos o características no recogidas en el modelo del dominio instructivo. Estas características adicionales al modelo de dominio suscitan dos líneas de trabajo para una mejora futura del método ComBLA: (1) Ausencia de validación. Al tratarse de características específicas del sistema y adicionales al modelo de dominio no se dispone de mecanismos de validación de las mismas; y (2) Mejora del modelo de dominio. Aunque en esta primera versión del método no se ha tomado en consideración, las características adicionales pueden tratarse como entradas del proceso de modelado del dominio instructivo, refinando progresivamente el contenido del diagrama de características del dominio.

En ocasiones, y según el modelo de dominio definido, la elección de determinadas características referidas al entorno instructivo o las tareas instructivas condicionan la estrategia instructiva a seguir. En este caso, se realizará una tarea adicional encargada de seleccionar el método instructivo y la forma de evaluación recomendada para las condiciones del sistema. Esta elección no se considerará como una definición de características del sistema sino como una mera recomendación o propuesta de solución. Como se ha comentado con anterioridad, la definición de la estrategia instructiva queda fuera del ámbito de la etapa de análisis; sin embargo, la inclusión de una tarea como la indicada, y gracias a la faceta de *tecnologías del dominio* del diagrama de características el dominio, establece las bases para la definición de un método generativo de diseño instructivo [51, 52, 53]

El segundo grupo de características a recopilar tiene que ver con la forma en la cual se desplegará el sistema para la instrucción. Se trata de características que definen la manera de automatizar el proceso instructivo y que definen las herramientas o medios utilizados durante el desarrollo de la instrucción. La definición de este grupo de características se realizará mediante la siguiente secuencia de tareas:

1. Definir el entorno de despliegue. La primera tarea determina las características o aspectos organizativos que determinan la forma de utilización del sistema. La tarea revisa la faceta de *entorno operativo* del diagrama de características del modelo de dominio discriminando aquellas características referidas a la disponibilidad del sistema, restricciones de seguridad o el tipo de accesibilidad.
2. Establecer la forma de implementación. Se seleccionan las características de la faceta de *técnicas de implementación* que se corresponden con las necesidades del sistema. La selección se realiza en el siguiente orden: (1) En primer lugar, y a partir de la configuración del sistema ya disponible, se seleccionan los servicios instructivos necesarios para la automatización de las actividades instructivas; (2) El segundo paso implica la elección de servicios operativos. A partir de la elección de servicios, y tomando como referencia las reglas de negocio del dominio, se seleccionan los servicios operativos necesarios para el correcto funcionamiento del sistema; y (3) Por último, se eligen herramientas o plataformas disponibles en el dominio que soportan los servicios indicados.
3. Completar el diagrama. Como en el caso de las tareas ejecutadas para definir forma de instrucción, el diagrama de características se completa con aquella información referida a la forma de automatización del proceso no incluida en el modelo del dominio. Este conocimiento puede tomarse como fuente de información para sucesivos modelados del dominio instructivo correspondiente.

La actividad de configuración del sistema respetará un proceso evolutivo; es decir, las tareas se repetirán hasta alcanzar un diagrama de características que describa adecuadamente el sistema a desarrollar. Por desgracia, no es posible establecer un criterio único y concluyente sobre el momento en el cual se debe detener este proceso de refinamiento. En todo caso, puesto que el objetivo principal es establecer un modelo básico de partida es más relevante que el diagrama represente la información mínima recogida en las tareas previas que el grado de precisión de la misma.

## Productos

La actividad establece un modelo preliminar que describe de manera simplificada un sistema de aprendizaje asistido por ordenador. El modelo describe la configuración del sistema en base a sus propiedades esenciales. El resultado de la actividad de configuración del sistema será un diagrama de características que represente la funcionalidad y operativa básica del sistema. El diagrama de características seguirá la notación y estructura definida para los diagramas de características del dominio: las características del sistema se representarán como un grafo unidireccional estructurado en forma de árbol. De la misma manera, las características se clasificarán en cuatro facetas según la perspectiva del proceso de desarrollo que caractericen. Para una mayor información sobre los diagrama de características se recomienda consultar el apartado 4.2.2.

## III. La definición del sistema

La *definición del sistema* es la actividad principal del proceso de análisis del sistema. La actividad contempla una serie de tareas encaminadas a obtener un modelo de sistema que represente con precisión las necesidades y condiciones del sistema a desarrollar. El modelo de sistema describirá tanto el proceso instructivo a diseñar como el comportamiento esperado del sistema. A pesar de su relevancia en el proceso de análisis, la actividad de definición del sistema definida por el método ComBLA no presentan diferencias significativas con actividades o etapas similares de otros métodos de desarrollo de software para la instrucción [83, 90, 122]. La actividad se centra en el estudio de los factores que condicionan el desarrollo del sistema a fin de obtener una explicación precisa del problema a resolver. La principal diferencia con el resto de alternativas se encuentra en el punto de partida o entradas de la actividad. Frente a las propuestas tradicionales, que especifican el sistema a partir de los requisitos de usuario o de la información del contexto, la actividad de definición del sistema del método ComBLA parte de un modelo básico definido durante la etapa de configuración del sistema, modelo deducido a su vez de las distintas configuraciones del dominio establecidas durante el proceso de análisis del dominio. Esta forma de trabajo establece las bases para minimizar la relevancia de la experiencia en la correcta definición del sistema, concediendo mayor importancia a la ejecución sistemática del proceso.

## Objetivos

El propósito de la actividad es elaborar un modelo de sistema que especifique qué tipo de sistema de aprendizaje asistido por ordenador se desea desarrollar. El modelo de sistema es un artefacto fundamental para los distintos participantes en el proceso de desarrollo:

- El modelo de sistema es utilizado por los analistas para mejorar la comprensión del proceso instructivo a resolver, así como el comportamiento y forma de trabajo esperados de la aplicación. La elaboración de un modelo de sistema facilita y sistematiza el proceso de estudio, revisión y especificación del sistema.
- El modelo de sistema proporciona a los diseñadores una representación esencial tanto del sistema instructivo como de la aplicación informática. El modelo de sistema sirve como entrada a la etapa de diseño fijando los aspectos de interés que deben ser considerados por los diseñadores a la hora de definir la solución más adecuada.
- El modelo de sistema es la producto principal de la etapa de análisis y, en consecuencia, el factor esencial que determina la completitud, corrección y consistencia de la especificación del sistema. La obtención de un modelo de sistema fija las bases para la posterior validación y verificación del sistema desarrollado.

## Precondiciones

Tal y como se ha expuesto con anterioridad, la principal novedad del proceso de análisis del sistema del método ComBLA reside no tanto en la forma de estudio del sistema como en los artefactos desencadenantes del mismo. Estos artefactos discriminan desde el inicio los aspectos de interés de la actividad. La consecuencia es la necesidad de abordar, como paso previo a la definición del sistema, alguna actividad encargada de establecer un modelo preliminar que describa los aspectos esenciales del sistema. En particular, y por los motivos expuestos a lo largo de este trabajo, se propone una actividad de configuración que genere un diagrama de características del sistema agrupadas en facetas de interés. Este diagrama será el punto de partida de las tareas de la actividad de definición del sistema.

## Tareas

La definición del sistema abarca el conjunto de tareas orientadas a la obtención de un modelo de sistema que represente el sistema a desarrollar. Las tareas se organizarán de manera que el modelo final contemple las distintas perspectivas establecidas para un sistema de aprendizaje asistido por ordenador.

1. Establecer el contexto del sistema. La actividad se inicia con la revisión de las necesidades y condiciones relacionadas con el entorno de utilización del sistema, detallando aquella información recopilada de manera imprecisa o parcial. La definición del contexto tomará como base el diagrama de características elaborado durante la actividad de configuración del sistema. La tarea se ejecutará en tres pasos: (1) Identificar características. Se seleccionan las características recopiladas en la configuración del sistema que tiene que ver con el entorno instructivo y de despliegue. Se eliminan de estos grupos las características referidas al perfil del alumno; (2) Recopilar información. Cuando la información recogida en el diagrama de características no permite tener una idea clara de las condiciones del contexto se recopila información adicional de los interesados; y (3) Elaborar diagrama. Se clasifica la información de acuerdo a los tres grupos de factores establecidos en la definición del diagrama de contexto.
2. Definir el modelo estructural. La segunda tarea de la actividad está encaminada a especificar la organización lógica del sistema. La definición del modelo estructural se centrará en la elaboración de un diagrama de entidades que represente las entidades significativas del sistema. La definición del diagrama de entidades tiene un carácter más restrictivo que el diagrama de contexto: el artefacto tiene un propósito muy específico y la información a representar ha sido claramente delimitada durante su definición. Tomando como referencia esta definición, la tarea se centra en recopilar y organizar la información de interés representada en la configuración del sistema: (1) Recopilar características. Se seleccionan aquellas características de la configuración del sistema que tienen que ver con el tipo de alumno, los contenidos y las técnicas de implementación; (2) Completar características. Se completan las características con aquellas necesidades instructivas recogidas en el alcance que no han tenido



reflejo en la configuración del sistema; (3) Identificar entidades. Se identifican las entidades y se agrupan las características por entidad; y (4) Representar el diagrama. Se definen las relaciones, se representan las características de las entidades como propiedades y se elabora el diagrama.

3. Definir la funcionalidad del sistema. La funcionalidad del sistema se definirá, principalmente, estableciendo las actividades instructivas y de soporte proporcionadas por el sistema. La definición del catálogo de casos de uso se iniciará con la revisión de la configuración del sistema y la elección de aquellas características referidas a las actividades instructivas, tareas formativas y formas de evaluación. Estas características identifican las actividades instructivas del sistema. Una vez identificadas las actividades se definen los correspondientes casos de uso de acuerdo a la plantilla establecida en la definición del artefacto. El catálogo de casos de uso se completa con aquellos servicios de soporte recogidos en la configuración del sistema que determinan la forma de uso, administración y gestión. En ocasiones, como se expuso en la explicación del modelo de sistema, es necesario ofrecer una especificación a alto nivel del proceso instructivo. En este caso, se identificarán las actividades prefijadas del proceso, se establecerá un inicio y un fin, y se organizarán las actividades a fin de elaborar el diagrama de actividad del proceso instructivo.
4. Elaborar diagramas de secuencia. El último paso se encarga de especificar la forma de comportamiento de aquellas operativa del sistema complejas o críticas. A partir del catálogo de casos de uso, se identifican las actividades instructivas que requieren un proceso más complejo o que son especialmente relevantes para la ejecución el proceso instructivo. Una vez identificadas las actividades, se determinan las entidades involucradas, se establece el flujo de información y se elabora el diagrama de características correspondiente.

Una vez definidos los distintos artefactos software que conforman el modelo de sistema se identifican aquellos que ofrecen una vista instructiva del sistema. En particular, se considerarán como parte de la vista instructiva los factores organizativos del diagrama del contexto, el diagrama de entidades, los casos de uso sobre actividades instructivas y, en caso de elaborarse, la definición del proceso de instrucción mediante diagramas de actividades.

## Productos

El resultado de la actividad de modelado será una serie de artefactos software que permitan definir un sistema de aprendizaje asistido por ordenador. El modelo de sistema resultado de la actividad de definición está formado por los siguientes artefactos:

- Diagrama de contexto. Especificación de aquellos factores y condiciones que, siendo independientes tanto del comportamiento del sistema software como del proceso de aprendizaje, condicionan el desarrollo de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador.
- Diagrama de entidades. Definición de las propiedades y relaciones de las entidades significativos del sistema. El diagrama de entidades define la organización lógica de las entidades del sistema, estableciendo el modelo estructural del sistema.
- Catálogo de casos de uso. Definición de las acciones del sistema. Se tratarán como casos de uso tanto las actividades instructivas como las actividades de soporte. Por cada acción se especificarán sus condiciones, actores implicados y objetivos perseguidos.
- Diagrama de actividades. Definición del flujo de actividades del sistema. El diagrama de actividades define la funcionalidad del sistema en base a la secuencia de acciones del sistema y de manera independiente a las entidades que intervienen en el proceso. El diagrama de actividades se definirá únicamente en aquellos casos que se requiera especificar el proceso instructivo de alto nivel por estar condicionado por requisitos del sistema.
- Diagrama de secuencia. El diagrama de secuencia muestra el intercambio de mensajes entre las entidades del sistema. El diagrama de secuencia establece el modelo de comportamiento; es decir, la forma en la cual los actores del sistema utilizan los recursos disponibles durante la ejecución de las distintas acciones.

Para una explicación más detallada de los productos de la actividad de definición del sistema se recomienda consultar el apartado 4.2.3.

# Capítulo 5

## Evaluación de la solución

*”«No entiendes los hechos», dijo el sacerdote. «La sentencia no se dicta de repente: el proceso se convierte poco a poco en sentencia.» «De manera que es así», dijo K., bajando la cabeza.”*

**El proceso**

Franz Kafka

La fase de evaluación tiene por objeto la valoración de la solución propuesta como medio para corroborar la validez del trabajo de investigación realizado. El proceso de evaluación no es una actividad trivial; por el contrario, requiere de un plan de evaluación que abarque desde la definición de los objetivos de la evaluación a la correcta ejecución de los casos de prueba establecidos. El presente capítulo detalla la labor de evaluación del método ComBLA. El capítulo divide la exposición de la evaluación en cuatro secciones: (1) La revisión del concepto de evaluación en el marco de la investigación científica; (2) La exposición del diseño de la evaluación de la solución propuesta, centrándose en la definición de objetivos y la justificación del método de evaluación utilizado; (3) La explicación de la evaluación realizada, describiendo las distintas formas de evaluación utilizadas y los resultados obtenidos de los mismos; y (4) El análisis de resultados. El capítulo recopila el conjunto de tareas que han permitido calificar al método ComBLA como una solución válida y acorde a los objetivos planteados al inicio del trabajo.

## 5.1. La evaluación en la investigación científica

La evaluación es la actividad esencial de la labor de investigación científica [86]. La evaluación permite confrontar los objetivos definidos al inicio del trabajo de investigación con los resultados obtenidos, permitiendo establecer la validez o no de la solución propuesta. El presente apartado realiza un breve repaso sobre el proceso de evaluación y los métodos de evaluación más habituales en el marco de la investigación científica.

### 5.1.1. El proceso de evaluación

El mecanismo de evaluación empleado depende del contexto de realización del trabajo de investigación [86], motivo por el cual no es posible hablar de una forma de evaluación única. No obstante, sí es posible determinar una serie de tareas de evaluación comunes a todo trabajo de investigación. De manera general, e independientemente de la naturaleza de la solución evaluada, se puede establecer la siguiente secuencia de pasos como imprescindibles para una adecuada evaluación:

1. Establecer la hipótesis de partida. El proceso de evaluación se inicia en las fases iniciales del trabajo de investigación, una vez establecido el problema y formulados los objetivos del trabajo.
2. Definir los objetivos de la evaluación. Una vez formulada la propuesta de solución, el primer paso consiste en la definición clara y precisa de los objetivos perseguidos en la evaluación. La formulación de los objetivos debe ser tal que su consecución permitan corroborar o rechazar las aportaciones del trabajo.
3. Elegir los datos cuantitativos y cualitativos que se analizarán para extraer conclusiones sobre los objetivos iniciales del proceso de evaluación. Los datos cuantitativos se corresponden con métricas de calidad que proporcionan una medida de la capacidad del evaluador para utilizar el artefacto; por el contrario, los datos cualitativos se basan en opiniones extraídas mediante la realización de cuestionarios o entrevistas. La elección del tipo de variables estará íntimamente relacionado con los objetivos de evaluación establecidos.

4. Seleccionar la forma de evaluación apropiada de acuerdo con los recursos disponibles, el tipo de solución propuesta, los objetivos perseguidos, etc.
5. Definir las tareas a realizar. En esta fase es importante separar las actividades dependientes del empleo de la solución de aquellas relacionadas con la introspección de sus características.
6. Realizar la evaluación. Se ejecutan las distintas tareas establecidas durante el diseño de la evaluación. La realización de la evaluación comprende tanto la conducción de la evaluación como la recogida de datos.
7. Analizar los resultados. Se revisan los datos obtenidos durante la conducción de la evaluación, se cotejan dichos datos con los objetivos establecidos y se elaboran las conclusiones pertinentes.

La concreción de cada una de estos pasos se realiza mediante la elaboración de un plan de evaluación acorde al trabajo de investigación evaluado.

### 5.1.2. Los mecanismos de evaluación

La evaluación de un artefacto software puede realizarse de distintas maneras aplicando métodos de evaluación dispares. En particular, es posible distinguir cinco mecanismos o métodos de evaluación [14, 86] dependiendo de aspectos como el grado de desarrollo del artefacto, los recursos disponibles o el tipo de cualidades a evaluar:

- **La evaluación por observación.** El propósito de la evaluación por observación [14, 68] es reunir datos acerca de la conducta del usuario mientras emplea el artefacto a evaluar. La evaluación por observación puede basarse en dos tipos de actividades [86]: (1) Caso de estudio. Se estudia el artefacto en profundidad en un escenario específico; y (2) Campo de estudio. Se estudia el uso del artefacto en varios proyectos de un contexto determinado. La evaluación por observación resulta muy eficaz en artefactos concebidos para su interacción con el usuario; sin embargo, resulta de escasa utilidad cuando se pretende evaluar artefactos concebidos para el diseño de otros artefactos.

- **La evaluación analítica.** La evaluación analítica se basa en la revisión prospectiva del contexto de realización del trabajo a fin de determinar las cualidades intrínsecas del artefacto a evaluar. La evaluación analítica puede utilizarse a lo largo de todo el ciclo de diseño del artefacto, ya que requiere pocos recursos, no necesita de prototipos o versiones incompletas del artefacto ni un tiempo de evaluación elevado. Se trata de un método de evaluación especialmente recomendado para valorar artefactos concebidos para el diseño y desarrollo de otros artefactos.
- **La evaluación experimental.** La evaluación experimental permite valorar un artefacto dentro de un entorno intervenido. La evaluación experimental radica en la ejecución de un conjunto de pruebas permitiendo al evaluador la alteración consciente de las condiciones de realización [134]. Se trata de un método óptimo para valorar un artefacto una vez se ha completado su diseño; en el lado negativo, la evaluación experimental requiere de evaluadores bien formados, de un diseño preciso de los casos de prueba y de un tiempo de evaluación elevado. La evaluación experimental puede realizarse mediante dos tipos de técnicas: experimentos controlados y simulaciones. Los experimentos controlados valoran el artefacto dentro de un entorno real pero restringido; por el contrario, la simulación se basa en la utilización del artefacto con datos artificiales.
- **La evaluación experta.** En la evaluación experta, personas altamente cualificadas en el tipo de solución a examinar o, en particular, en el contexto de realización del trabajo de investigación, juzgan el artefacto diseñado, identificando problemas o limitaciones del mismo. La complicación en este tipo de evaluación se encuentra en la selección de los evaluadores: los expertos deben elegirse con cautela para evitar prejuicios, juicios sesgados u opiniones erradas; así mismo, es necesario un diseño minucioso del tipo de cuestiones que se someterán al dictamen de los expertos. La evaluación experta es una herramienta muy útil para la evaluación de prototipos o especificaciones completas de un artefacto, aunque puede utilizarse en cualquier etapa del proceso de diseño, ya sea para conocer la opinión sobre el comportamiento esperado del sistema o las condiciones de utilización del mismo.

## 5.2. El diseño de la evaluación

La evaluación no es una actividad aleatoria ni el resultado de un hecho fortuito; por el contrario, se trata de una tarea sistemática sometida a un plan de evaluación bien conocido y con un propósito específico. La consecuencia es la necesidad de acometer el diseño de la evaluación como paso previo a su realización. El diseño es una actividad iterativa e incremental caracterizada por el refinamiento constante del producto diseñado [86]. En el caso de la labor de evaluación, el diseño mantiene este carácter incremental, motivo por el cual el diseño de la evaluación debe ser susceptible de refinamiento constante [74]. El diseño de la evaluación se considerará concluido cuando el artefacto elaborado, el plan de evaluación, contemple la totalidad de factores que condicionan la valoración de la solución propuesta.

### 5.2.1. El plan de evaluación

La evaluación del presente trabajo de investigación se ha basado en el proceso de evaluación desarrollado por el Laboratorio de Sistemas Interactivos (Laboratorio DEI). Este proceso organiza la evaluación en las siguientes actividades [25]:

**Definición del objetivo de la evaluación.** El primer paso de cualquier evaluación consiste en establecer de forma clara los objetivos que se persiguen con la evaluación del sistema.

**Selección del método de evaluación.** El siguiente paso consiste en seleccionar uno o varios métodos de evaluación que permitan la consecución de los objetivos establecidos, utilizando para ello los recursos disponibles. La decisión de utilizar un método de evaluación entre los posibles -evaluación por observación, analítica, experimental o experta [14, 86]- dependerá del estado de desarrollo del artefacto, del grado de participación de los usuarios, del tipo de datos que se espera obtener, así como de limitaciones externas, como pueden ser el tiempo disponible para la evaluación, los costes estimados del proceso o la disponibilidad de los evaluadores. Así, las evaluaciones analítica y experta son más adecuadas cuando no se ha finalizado el artefacto, mientras que la empírica y por observación se emplearán cuando el desarrollo del artefacto se encuentra en una fase avanzada.

**Preparación de la evaluación.** El tercer paso conlleva la realización de una serie de actividades encaminadas a disponer de los recursos imprescindibles para la evaluación. Entre estas actividades se pueden citar la selección de evaluadores, la definición de tareas de evaluación, la elección de datos cualitativos y cuantitativos a considerar, y la preparación de los mecanismos de recogida de la información.

**Conducción de la evaluación.** Se corresponde con la presentación de las tareas a los evaluadores para, una vez transcurrido el tiempo estimado para su realización, poner en marcha los mecanismos de recolección de información. En el caso de la evaluación analítica, la conducción de la evaluación consiste en el estudio de las características del artefacto a fin de comprobar el cumplimiento o no de aquellas cualidades inherentes a su condición.

**Elaboración de los datos.** La última actividad del proceso consiste en agrupar los datos recogidos para su estudio. La actividad comprende la selección de aspectos de interés, el estudio de las respuestas relacionadas con dichos aspectos y la extracción de conclusiones a partir de los mismos.

De las actividades definidas, las tres últimas dependen del método de evaluación, siendo necesaria su explicación por cada uno de los métodos seleccionados; por el contrario, las dos primeras son comunes a todo el proceso de evaluación y condicionan la forma en la cual se ejecuta la evaluación, motivo por el cual su explicación se incluirá en esta misma sección.

### 5.2.2. El objetivo de la evaluación

El objetivo principal del proceso de evaluación de sistemas informáticos es la comprobación de la utilidad, calidad y eficacia de la solución propuesta:

*"The utility, quality, and efficacy of a design artifact must be rigorously demonstrated via well executed evaluation methods."*

A.R. Hevner et al. [86]



La forma de interpretación de estas cualidades depende de la naturaleza del artefacto software a valorar, de su cometido y de sus particularidades, siendo necesaria una definición de las mismas como paso previo a su valoración:

- La **calidad** de un artefacto software puede medirse en términos de completitud, corrección, usabilidad, disponibilidad o interoperabilidad [124], dependiendo del tipo de artefacto considerado. La calidad de un método viene dado por aquellas cualidades intrínsecas que permiten acometer una tarea de manera estructurada y organizada. La calidad del método ComBLA se medirá de acuerdo a su corrección, completitud y consistencia. El método se califica como correcto si se ajusta a principios o normas; en el caso de un método de análisis, si contempla el conjunto de tareas específicas de la labor de análisis. La completitud se asocia a la capacidad del método de considerar la totalidad de aspectos que intervienen en el desarrollo del sistema. Por último, la consistencia establece el grado de coherencia entre los distintos componentes del método.
- La **utilidad** es la cualidad principal y la razón que justifica el diseño de un artefacto software: un artefacto debe ser concebido para un problema concreto, demostrando su capacidad para resolver dicho problema [86]. El método ComBLA ha sido concebido para aplicar el análisis de dominios al campo de la enseñanza asistida por ordenador; por tanto, el método se considerará útil si es capaz de proporcionar los mecanismos que permiten analizar un dominio instructivo. El proceso de evaluación medirá la capacidad del método para revisar, sintetizar y representar el conocimiento de un dominio instructivo.
- La **eficacia** hace referencia a la capacidad para conseguir un resultado determinado. En el caso de la solución propuesta, y de acuerdo con las motivaciones que impulsaron el trabajo de investigación, el método ComBLA se considerará eficaz si es capaz de acometer el análisis de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador sin la participación directa de expertos en diseño instructivo. La solución se considerará eficaz si es capaz de especificar las necesidades y condiciones de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador tomando como referencia el modelo del dominio instructivo al cual pertenece.

La valoración de la utilidad, calidad y eficacia del método permite evaluar los objetivos específicos establecidos al inicio del trabajo de investigación. Así, la medición de la calidad está relacionada, de manera directa, con el cumplimiento de los objetivos de corrección, completitud y consistencia establecidos para el método de análisis. La utilidad se corresponde con la capacidad de delimitar con precisión un dominio, de estudiar el conocimiento del dominio instructivo y de representarlo mediante una notación adecuada. El cumplimiento de esta condición requiere de un método completo que trate la totalidad de facetas presentes en un dominio instructivo. Por último, la evaluación de la utilidad permite validar la capacidad del método para mejorar el análisis de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador. Un método eficaz, en los parámetros establecidos anteriormente, se corresponderá con un método sistemático y orientado a reutilización. El cumplimiento de estas cualidades requiere de la existencia de un modelo de dominio que guíe el proceso de análisis del sistema. La tabla 5.1 muestra la relación existente entre los objetivos de evaluación y los objetivos del trabajo de investigación.

Objetivos relativos a la labor de análisis	Objetivos de la evaluación		
	Calidad	Utilidad	Eficacia
1.1 Disponer de un método correcto	✓	-	-
1.2 Disponer de un método completo	✓	✓	-
1.3 Disponer de un método consistente	✓	-	-
1.4 Definir un método sistemático	-	-	✓
1.5 Definir un método orientado a reuso	-	-	✓

Objetivos relativos al análisis de dominios	Objetivos de la evaluación		
	Calidad	Utilidad	Eficacia
2.1 Definir dominio instructivo	-	✓	-
2.2 Establecer fuentes de información	-	✓	-
2.3 Emplear el modelado de características	-	✓	✓
2.4 Definir proceso de análisis del dominio	-	✓	✓
2.5 Definir proceso de análisis del sistema	-	-	✓

Tabla 5.1: Relación entre objetivos de evaluación y objetivos del trabajo

### 5.2.3. El método de evaluación

La selección de métodos de evaluación no puede ser arbitraria ni casual, sino que debe tomar en consideración las condiciones de realización de la evaluación:

*"The selection of evaluation methods must be matched appropriately with the designed artifact and the selected evaluation metrics."*

A.R. Hevner et al. [86]

Por tanto, como paso previo a la elección del método de evaluación, se revisarán los criterios de evaluación y la naturaleza del artefacto a evaluar:

- Criterios de evaluación. Tal y como se expuso en el apartado anterior, la evaluación se basará en la revisión de una serie de propiedades intrínsecas de la solución. La valoración de estas propiedades permitirá establecer si el método ComBLA cumple los criterios mínimos para ser considerada una solución de calidad. La valoración de la calidad se complementará con la opinión de expertos en el contexto del trabajo de investigación. El dictamen de estos expertos permitirá establecer la utilidad de la propuesta de solución. En lo que respecta a la eficacia, será necesario recurrir a la ejecución de un caso de ejemplo como forma de demostrar empíricamente las cualidades del método.
- Naturaleza de la solución. El método ComBLA se puede calificar como una solución novedosa en el contexto de la enseñanza asistida por ordenador. El carácter original de la solución condiciona el método de evaluación a emplear, obligando a restringir el tipo de experimentos. En particular, y a fin de comprobar la utilidad y eficacia del método, se recurrirá a la ejecución de una prueba de concepto en un entorno controlado. Los resultados de la prueba se someterán al juicio de expertos.

La conjunción de ambos factores ha llevado a elegir la evaluación analítica, experimental y experta como métodos de evaluación de la propuesta de solución. A fin de constatar la adecuación de los métodos seleccionados, la tabla 5.2 establece la relación existente entre los métodos de evaluación y los objetivos de la evaluación y del trabajo de investigación. Por último, la tabla 5.3 recoge un resumen del diseño de la evaluación del método ComBLA.

Objetivos de la evaluación	Métodos de evaluación		
	M.Ev.1	M.Ev.2	M.Ev.3
1 Establecer la <b>calidad</b> del método	✓	✓	✓
2 Establecer la <b>utilidad</b> del método	-	✓	✓
3 Establecer la <b>eficacia</b> del método	✓	-	✓

Objetivos relativos a la labor de análisis	Métodos de evaluación		
	M.Ev.1	M.Ev.2	M.Ev.3
1.1 Disponer de un método correcto	✓	✓	-
1.2 Disponer de un método completo	✓	✓	✓
1.3 Disponer de un método consistente	✓	✓	✓
1.4 Definir un método sistemático	✓	-	✓
1.5 Definir un método orientado a reuso	✓	-	-

Objetivos relativos al análisis de dominios	Métodos de evaluación		
	M.Ev.1	M.Ev.2	M.Ev.3
2.1 Definir dominio instructivo	-	-	✓
2.2 Establecer fuentes de información	-	-	✓
2.3 Validar el modelado de características	-	-	✓
2.4 Definir proceso de análisis del dominio	-	✓	✓
2.5 Definir proceso de análisis del sistema	-	✓	✓

[Leyenda]

M.Ev.1 - Evaluación analítica

M.Ev.2 - Evaluación experimental

M.Ev.3 - Evaluación experta

Tabla 5.2: Relación entre métodos de evaluación y objetivos

### Objetivos de evaluación

- 
- O.Ev.1. La **calidad** del método ComBLA se medirá de acuerdo a su corrección, completitud y consistencia. El método se califica como correcto si se ajusta a principios o normas; en el caso de un método de análisis, si contempla el conjunto de tareas específicas de la labor de análisis. La completitud se asocia a la capacidad del método de considerar la totalidad de aspectos que intervienen en el desarrollo del sistema. Por último, la consistencia establece el grado de coherencia entre los distintos componentes del método.
- O.Ev.2. El método ComBLA ha sido concebido para aplicar el análisis de dominios al campo de la enseñanza asistida por ordenador; por tanto, el método se considerará de **útil** si es capaz de proporcionar los mecanismos que permiten analizar un dominio instructivo. El proceso de evaluación medirá la capacidad del método para revisar, sintetizar y representar el conocimiento de un dominio instructivo.
- O.Ev.3. El método ComBLA se considerará **eficaz** si es capaz de acometer el análisis de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador sin la participación directa de expertos en diseño instructivo. La solución se considerará eficaz si es capaz de especificar las necesidades y condiciones de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador tomando como referencia el modelo del dominio instructivo al cual pertenece.
- 

### Métodos de evaluación

- 
- M.Ev.1. La **evaluación analítica** está encaminada a comprobar el cumplimiento por parte de un artefacto de aquellas cualidades inherentes a su condición. La evaluación analítica del método ComBLA se ha basado en la técnica de «análisis estático».
- M.Ev.2. La **evaluación experimental** permite probar y examinar de manera empírica las propiedades de un artefacto. Entre las posibles técnicas de evaluación disponibles, la evaluación experimental del método ComBLA se ha basado en la realización de una «prueba de concepto».
- M.Ev.3. La **evaluación experta** consiste en recopilar la opinión vertida por expertos en el campo de aplicación del artefacto tras el uso, aplicación o estudio del artefacto evaluado.
- 

Tabla 5.3: Resumen de objetivos de evaluación y métodos de evaluación

### 5.3. La comprobación de la solución

Una vez establecidos los objetivos de evaluación y los métodos de evaluación a utilizar, el siguiente paso se corresponde con la comprobación de la solución. La comprobación de la solución consiste en la aplicación de uno o varios métodos de evaluación a fin de comprobar los objetivos de evaluación establecidos. De acuerdo con las técnicas de evaluación seleccionados, la exposición de la comprobación de la solución se dividirá en tres apartados: la evaluación analítica del método ComBLA, la ejecución de una prueba de concepto y la realización de la evaluación experta.

#### 5.3.1. La evaluación analítica

La evaluación analítica está encaminada a comprobar el cumplimiento por parte de un artefacto de aquellas cualidades inherentes a su condición. La evaluación analítica del método ComBLA se basará en la técnica de «análisis estático». El análisis estático consiste en el estudio pormenorizado de la estructura de un artefacto, valorando sus propiedades intrínsecas en base a la revisión de las fuentes de conocimiento existentes. Se trata de un método de análisis especialmente adecuado para determinar la calidad de un artefacto [86]. El análisis estático establece un proceso de evaluación dividido en las siguientes tareas:

- Revisión de trabajos. Se somete a examen aquellos conceptos o factores que determinar la estructura del artefacto a evaluar.
- Definición de aspectos de interés. A partir de la revisión realizada se establecen el conjunto de cualidades intrínsecas a considerar.
- Valoración del artefacto. La tarea consiste en la revisión crítica del artefacto, comprobando el cumplimiento de los factores identificados.
- Análisis de resultados. De acuerdo a los resultados de la tarea previa, se establece la valía o no del artefacto evaluado.

La evaluación analítica del método ComBLA se basará en el estudio de los principios del desarrollo de sistemas a fin de establecer el conjunto de cualidades que debe cumplir un método de análisis para ser considerado como correcto, completo, consistente, sistemático y orientado a reutilización.

## La preparación de la evaluación

La preparación de la evaluación mediante la técnica de análisis estático se corresponde con las dos primeras actividades del método: la revisión de trabajos y la definición de aspectos de interés. El objetivo de la etapa de preparación de la evaluación es identificar aquellas características que conforman la esencia del artefacto evaluado. A continuación, se describe la preparación de la evaluación mediante el análisis estático en relación con los tres aspectos que se pretenden valorar: la calidad de la solución, la sistematización de la labor de análisis y la capacidad del método para promover la reutilización de materiales. El resumen del conjunto de factores a valorar mediante el análisis estático del método ComBLA se recogen en la tabla 5.4.

### La calidad de la solución

La calidad se define como el conjunto de cualidades inherentes a una realidad, las cuales permiten juzgar su valor. En el caso de un método de análisis, tal y como se identificó en el estudio realizado durante la fase de determinación del problema, la calidad se relaciona con el cumplimiento de las siguientes propiedades:

- **Correcto.** Un artefacto se considera correcto si se ajusta a las reglas. En el caso de un método de análisis, la corrección se corresponde con la realización de aquellas actividades propias de la labor de análisis: el estudio y representación de una realidad.
- **Completo.** Un método de análisis se considera completo si comprende la especificación del conjunto de factores que intervienen en el problema. La completitud se relaciona tanto con el proceso de análisis como con el producto del análisis.
- **Consistente.** La consistencia refleja la existencia de una relación lógica entre los componentes de un artefacto. Un método se considera consistente si existe una coherencia entre todas sus actividades, así como entre las actividades y el producto resultado de las mismas.

La evaluación analítica de la solución se encargará de establecer el grado de corrección, completitud y consistencia del método ComBLA.

### Un método sistemático

El software para la instrucción se define como un tipo particular de software [71]. De acuerdo con esta afirmación, el estudio de la cualidades de un método sistemático tomará como referencia los principios de la ingeniería del software. El estudio de dichos principios ha revelado que un artefacto sistemático es dependiente de la precisión con la cual se definan sus procesos y productos; en particular, un método sistemático requiere de una definición caracterizada por los siguientes principios:

- Rigor. Se entiende por artefacto riguroso aquel cuya definición se realiza de manera detallada. El rigor se asocia a la existencia de patrones y modelos que guíen la definición de los distintos componentes del artefacto.
- Formalismo. El formalismo se corresponde con un nivel mayor de rigurosidad. Un artefacto se considera formal si se ajusta a normas y reglas conocidas. El formalismo se asocia a la existencia de una sintaxis y una semántica normalizada que permita validar la información representada.

El nivel de sistematización del método ComBLA vendrá determinado por el grado de rigor y formalismo empleado en su definición. Un método riguroso o ligeramente formal se considerará como un método sistemático, aunque no pueda alcanzar las cotas de sistematización proporcionadas por los métodos formales.

### Un método orientado a reutilización

El último factor a considerar tiene que ver con la definición de un método orientado a reutilización. La reutilización se entiende como la capacidad de utilizar un recurso ya existente en un contexto similar pero distinto a aquél en el cual se empleó originalmente. La búsqueda de la reutilización de componentes en el desarrollo de software propone una doble estrategia:

- Diseño para la reutilización. El diseño para la reutilización, *design for reuse*, se centra en la utilización de patrones de diseño que permitan desarrollar componentes susceptibles de ser reutilizados.
- Diseño por reutilización. El diseño basado en la reutilización o diseño por reutilización, *design to reuse*, se basa en el respeto de una serie de principios que facilitan la reutilización de componentes ya desarrollados.



En el caso del desarrollo de la instrucción también es posible establecer esta diferenciación en cuanto a la filosofía de diseño: la elaboración de materiales educativos que pueden ser empleados en distintos contextos o la definición de un recurso instructivo basado en materiales ya disponibles. A pesar de la existencia de esta doble estrategia, los trabajos existentes en el campo de la enseñanza asistida por ordenador se han centrado en la definición de especificaciones y formatos que permitan diseñar materiales reutilizables, dejando la identificación y selección al criterio de los participantes en el desarrollo de nuevos recursos [49]. A fin de superar esta restricción, la solución se centró en la segunda alternativa: la definición de un método de análisis orientado a reutilización. De acuerdo con esta premisa, y basándonos en la literatura existente sobre el diseño por reutilización, el método de análisis debe cumplir las siguientes condiciones:

- Contexto aislado. El diseño basado en la reutilización requiere un contexto bien delimitado dentro del cual poder establecer su especificidad. Un recurso reutilizable únicamente puede emplearse en contextos similares, motivo por el cual es necesario circunscribir el estudio a un contexto específico que agrupe el conjunto de problemas con factores en común.
- Representación de la variabilidad. La reutilización está relacionada con la capacidad de satisfacer cualidades comunes adaptándose a las particularidades del problema. De manera intuitiva, la reutilización se relaciona con la existencia de elementos comunes; sin embargo, este aspecto por sí mismo no es suficiente para alcanzar la reutilización. Junto a los elementos comunes es necesario plasmar la variabilidad del contexto como forma de establecer alternativas de uso.
- Diseño descendente. La reutilización se alcanza habitualmente en componentes concretos pero adecuándose a reglas y pautas establecidas a alto nivel. La aproximación del problema debe realizarse en sucesivos niveles de detalle, refinando progresivamente la solución pero sin perder la relación con aquellas características de alto nivel que expresan la especificidad del contexto.

El método ComBLA podrá considerarse como un método de análisis orientado a reutilización si cumple las premisas establecidas para el diseño por reutilización.

### Cualidades de una solución verificable

---

#### **Corrección**

Un método de análisis se considera correcto si acomete el conjunto de tareas que permiten especificar un problema.

---

#### **Compleitud**

Un método de análisis se considera completo si estudia la totalidad de factores que intervienen en el problema.

---

#### **Consistencia**

Un método de análisis se considera consistente si existe una relación lógica entre los componentes del método.

---

### Cualidades de un artefacto sistemático

---

#### **Rigor**

Un artefacto software se considera riguroso si su definición se ajusta a patrones o modelos conocidos.

---

#### **Formalismo**

Un artefacto software se considera formal si su definición se ajusta a normas y reglas conocidas.

---

### Cualidades del diseño por reutilización

---

#### **Contexto aislado**

El diseño basado en la reutilización requiere un contexto bien delimitado dentro del cual poder establecer su especificidad.

---

#### **Representación de la variabilidad**

La reutilización está relacionada con la capacidad de satisfacer cualidades comunes adaptándose a las particularidades del problema.

---

#### **Diseño descendente**

La reutilización se alcanza habitualmente en componentes concretos pero adecuándose a reglas y pautas establecidas a alto nivel.

---

Tabla 5.4: Cualidades a valorar mediante el análisis estático

## La conducción de la evaluación

La conducción de la evaluación se corresponde con la tarea de valoración del artefacto. La valoración del artefacto consiste en la comprobación del cumplimiento o no de los factores identificados durante la preparación de la evaluación. La exposición de la conducción de la evaluación se centrará en la calidad de la solución, las cualidades de un método sistemático y las características del diseño por reutilización.

### La calidad de la solución

El método de análisis se considera verificado si es posible establecer su corrección, completitud y consistencia. De estas propiedades, la corrección y consistencia tienen sentido en sí mismas, mientras que la completitud depende del contexto de aplicación. Así, por ejemplo, un método calificado como completo para el desarrollo de la instrucción no tendría tal consideración como método para el desarrollo de la enseñanza asistida por ordenador. A continuación, se enumeran el conjunto de factores que condicionan la corrección y consistencia de un método de análisis, dejando para más adelante la explicación de los factores que intervienen en la definición de un método completo para el análisis de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador. La corrección hace referencia a la capacidad de un artefacto de satisfacer los principios acordes a su condición. La revisión realizada durante la determinación del problema (ver sección 2.3.2) reveló las actividades propias del análisis de sistemas:

- Análisis regresivo. Se especifica el proceso de negocio que da lugar al desarrollo del sistema.
- Análisis resolutivo. Se identifican y definen el conjunto de factores que condicionan el proceso de desarrollo.
- Análisis interpretativo. Se recurre a una notación específica para representar los aspectos esenciales del problema.

Por tanto, un método de análisis correcto será aquel que permita estudiar tanto el proceso de negocio que motiva el desarrollo como las necesidades y condiciones del sistema a desarrollar, proporcionando a su vez una notación adecuada que posibilite la representación de la realidad estudiada. La tabla 5.5 refleja el conjunto de factores que conforman un método de análisis correcto.

### Cualidades de un método de análisis correcto

---

#### **Análisis regresivo**

Basado en el estudio de las motivaciones del problema. El análisis tiene por objeto conocer las causas o razones que dieron lugar al problema que se pretende resolver.

---

#### **Análisis resolutivo**

Basado en la descomposición de los problemas en otros conceptos más generales o de más sencilla comprensión. El análisis pretende recoger las condiciones para la resolución del problema.

---

#### **Análisis interpretativo**

Basado en la transformación o cambio en la forma de representación del problema. El análisis requiere el empleo de una notación específica para expresar el problema a resolver.

---

Tabla 5.5: Factores a considerar en el análisis estático de la corrección

El método ComBLA está dividido en dos componentes principales: un modelo de análisis y un proceso de análisis. El modelo de análisis establece una serie de diagramas y plantillas, ajustados a reglas fijas y conocidas, que permiten reflejar los distintos aspectos del sistema. Se trata, por tanto, de una notación específica, concebida para representar un problema determinado: carácter interpretativo del análisis. Por lo que respecta a la distinción entre análisis regresivo y resolutivo, el método ComBLA lo contempla de la siguiente manera:

- **Análisis regresivo.** El análisis del sistema se inicia con la identificación de las necesidades y condiciones instructivas que motivan el desarrollo. La información se complementa con la posterior definición del proceso de aprendizaje asistido por el sistema.
- **Análisis resolutivo.** Como parte de la actividad de definición del sistema incorpora tareas para establecer las condiciones de utilización del sistema y las operativas soportadas por el mismo.

El resultado es un método de análisis que dispone de tareas específicas para el estudio de las causas del problema y de los principios básicos que lo configuran.

La consistencia expresa la existencia de una relación real o convencional entre elementos dispares. Un artefacto software consistente es aquel que presenta una correspondencia entre los distintos componentes que lo conforman. La consistencia de un método de análisis viene determinado por dos factores:

- Consistencia del proceso. Las distintas actividades y tareas del proceso de análisis están relacionadas entre sí. La consistencia del proceso implica la ausencia de contradicción entre las distintas actividades y la existencia de cohesión entre actividades sucesivas.
- Consistencia entre el proceso y el producto. La consistencia entre el proceso y el producto obliga a una correspondencia entre las actividades ejecutadas y los productos obtenidos de las mismas. La obtención de un determinado producto se deberá a la ejecución de un conjunto de actividades específicas.

La consistencia debe alcanzarse en ambos factores. La existencia de consistencia en el proceso pero no entre el proceso y el producto impedirá considerar el método de análisis como consistente. La medición de la consistencia del método ComBLA se realizará en base a los factores recogidos en la tabla 5.6.

### Cualidades de un método de análisis consistente

---

#### **Cohesión entre actividades**

La cohesión entre actividades hace referencia a la existencia de una correspondencia entre actividades consecutivas. La salida de una actividad se convierte en entrada de la siguiente.

---

#### **Ausencia de contradicción entre actividades**

Las actividades del proceso no presentan contradicciones entre sus objetivos y las tareas realizadas, ni entre los objetivos de la actividad y el propósito del resto de actividades.

---

#### **Correspondencia entre el proceso y el producto**

La obtención de los distintos elementos del modelo de análisis se deberá a la ejecución de actividades específicas del proceso.

---

Tabla 5.6: Factores a considerar en el análisis estático de la consistencia

La revisión minuciosa de la definición del método ComBLA permite realizar las siguientes afirmaciones respecto a la consistencia del proceso de análisis:

- No existe contradicción entre las distintas actividades del método. No existen actividades cuyos objetivos se contrapongan, ni actividades cuyas tareas se contradigan entre sí.
- No existe contradicción entre objetivos y tareas de una actividad. Es posible establecer la correspondencia entre los objetivos de la actividad y las tareas desempeñadas para alcanzar los mismos.
- No existe solapamiento entre las distintas actividades del método. En todos los casos, los objetivos de dos actividades distintas resultan disjuntos entre sí. De igual manera, actividades con objetivos distintos acometen tareas diferentes.
- Existe cohesión entre actividades. La salida de una actividad se convierte en la entrada de la siguiente. De igual manera, las tareas de una actividad son complementarias entre sí.

De igual manera, pero en este caso referido a la consistencia entre el proceso del análisis y el producto del mismo, es posible formular los siguientes asertos:

- Todos los diagramas y plantillas del modelo se obtienen como resultado de la ejecución de actividades bien delimitadas y conocidas.
- Existe correspondencia entre el propósito establecido para cada uno de los elementos del modelo y los objetivos definidos para las actividades del proceso que los originan.
- Existe correspondencia entre los resultados esperados para cada una de las actividades y los productos obtenidos de las mismas. De igual manera, existe correspondencia entre las directrices de elaboración del producto y las actividades acometidas para su realización.

La conjunción de todas estas afirmaciones permite establecer el carácter consistente de método ComBLA en lo referente a la definición y forma de trabajo de sus componentes.

La última propiedad a considerar tiene que ver con la completitud del artefacto. Como se expuso anteriormente, la completitud de un método de análisis está relacionada con el contexto de utilización del artefacto: un método de análisis se considera completo si contempla el conjunto de factores que intervienen en el problema. En el caso de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador, la fase de análisis abarca la especificación de las siguientes perspectivas:

- Aspectos instructivos. Se incluyen en esta categoría la definición de objetivos educativos, la identificación de recursos y competencias, la especificación de las tareas instructivas (estrategias de instrucción y métodos de evaluación) y el estudio de las características del alumno.
- Aspectos del sistema software. Se define la forma en la cual los distintos elementos del sistema software interactúan entre sí. La definición del sistema software abarca la especificación de la estructura del sistema, su operativa y comportamiento deseado.
- Aspectos contextuales. Se especifican las condiciones externas al sistema que condicionan su utilización: factores administrativos, restricciones curriculares, medios técnicos disponibles, etc.

Los resultados de la evaluación analítica de la completitud se plasman en el formulario recogido en la tabla 5.7. Por cada una de las cualidades evaluadas se ha establecido un grado de cumplimiento de cero (0) a tres (3), tomando cero como la ausencia absoluta de la cualidad y tres como su pleno cumplimiento. La valoración realizada se ha basado en la revisión de las actividades y tareas propuestas por el método ComBLA. El estudio de las mismas nos muestra que el método presta especial atención a especificar los aspectos instructivos tanto del sistema como del dominio instructivo de interés. En cuanto a la definición de los aspectos referidos al sistema software, el método presenta limitaciones al representar el comportamiento del sistema, especialmente en lo referente a la interacción entre el usuario y la aplicación. Por último, el método establece tareas concretas para establecer el contexto del sistema, aunque dichas tareas no especifica en detalle el tipo de requisitos a considerar.

		Valoración			
<b>Cualidades de un artefacto completo</b>		0	1	2	3
1.	La especificación del dominio instructivo contempla el estudio del proceso instructivo	-	-	-	✓
2.	La especificación del dominio instructivo contempla el estudio de aspectos referidos al sistema software	-	-	✓	-
3.	La definición del sistema contempla la definición de los objetivos educativos perseguidos	-	-	-	✓
4.	La definición del sistema contempla el estudio de las actividades instructivas a desarrollar	-	-	-	✓
5.	La definición del sistema contempla el estudio de los contenidos a transmitir	-	-	-	✓
6.	La definición del sistema contempla el estudio de las propiedades de los participantes en el proceso instructivo	-	-	-	✓
		Valoración			
<b>Cualidades de un artefacto completo</b>		0	1	2	3
7.	La definición del sistema contempla el estudio del contexto instructivo	-	-	✓	-
8.	La definición del sistema contempla el estudio de las condiciones externas al sistema	-	-	✓	-
9.	La definición del sistema contempla el estudio de los medios tecnológicos y recursos técnicos disponibles	-	-	✓	-
10.	El método propone un modelo de análisis que permite representar la estructura del sistema	-	-	-	✓
11.	El método propone un modelo de análisis que permite representar la funcionalidad del sistema	-	-	-	✓
12.	El método propone un modelo de análisis que permite representar la comportamiento esperado del sistema	-	-	✓	-

Tabla 5.7: Formulario de evaluación de la completitud del método



### Un método sistemático

Un método sistemático es aquel cuyos componentes se relacionan entre sí de manera estructurada. En particular, y tomando como referencia la literatura sobre ingeniería del software, la sistematización de un artefacto software está condicionado por el nivel de rigor y formalismo con el cual se especifican sus distintos componentes. No obstante, dado el carácter gradual de estas propiedades, un método puede considerarse sistemático sin cumplir plenamente los objetivos de rigor y formalismo. A fin de valorar el grado de sistematización de la solución, se ha definido un formulario de evaluación que recoge el conjunto de factores que caracterizan a un método de análisis riguroso y formal. Por cada una de las cualidades evaluadas, ver tabla 5.8, se ha establecido un nivel de cumplimiento de cero (0) a tres (3), tomando cero como la ausencia absoluta de la cualidad y tres como su pleno cumplimiento. El método se considerará sistemático si se ha definido de manera rigurosa y dispone de mecanismos que permitan la verificación de los resultados obtenidos.

Cualidades de un artefacto sistemático	Valoración			
	0	1	2	3
1. La definición de los componentes del método se basa en plantillas y formatos predeterminados	-	-	-	✓
2. La definición de los componentes del método se basa en reglas y preceptos normalizados	-	✓	-	-
3. Los modelos generados por el método se basan en un lenguaje riguroso: dispone de una sintaxis no formal	-	-	-	✓
4. Los modelos generados por el método se basan en un lenguaje formal: dispone de una sintaxis formalizada	✓	-	-	-
5. El método establece mecanismos para verificar los modelos generados	-	-	-	✓
6. El método establece mecanismos para validar los modelos generados	-	✓	-	-
7. La consistencia del método se demuestra de manera descriptiva y en base a medidas cualitativas	-	-	-	✓
8. La consistencia del método se demuestra de manera formal y en base a reglas de inferencia	✓	-	-	-

Tabla 5.8: Formulario de evaluación del carácter sistemático del método

A continuación, dado el carácter abierto de algunas de las proposiciones recogidas en la plantilla de evaluación, se realizará una breve exposición de las puntuaciones concedidas a los distintos factores de interés. En primer lugar, y referido a la formulación del método, esta se basa en plantillas predefinidas, ajustadas al tipo de componente y concebida para asegurar la cohesión entre los mismos. Así, por cada actividad se establecen los objetivos perseguidos, las precondiciones a satisfacer o el producto esperado de su ejecución; de la misma manera, por cada uno de los diagramas se establece su propósito, se define su sintaxis y se proporcionan directrices de elaboración. Sin embargo, tal y como se recoge en el punto dos del formulario de evaluación, la formulación del método no ha utilizado ningún tipo de notación formal. En particular, los diagramas propuestos por el método se basan en modelos conceptuales definidos en notación UML, por lo que no es posible garantizar su corrección y consistencia.

En lo referido al resultado de la aplicación del método, a la especificación tanto del dominio instructivo como del sistema, esta se basa en la utilización de tablas, diagramas y otro tipo de artefactos (como el modelo contextual o las reglas de negocio) que expresan el problema mediante una notación rigurosa o ligeramente formal. Una alternativa a esta forma de trabajo sería la utilización de un lenguaje formal de especificación, basado en una notación matemática o algebraica, que garantice la consistencia y ausencia de ambigüedad de los productos elaborados. Sin embargo, tal y como se justifico en el capítulo de solución, esta alternativa podría resultar excesivamente costosa y de difícil aplicación al contexto del trabajo.

Los últimos factores considerados tienen que ver con la capacidad del método de validar el producto del análisis. Tal y como se indica en la actividad de comprobación de la especificación, el método establece mecanismos que permiten validar el formato del modelo de sistema pero no la validez de su contenido. La validación del modelo resultado del análisis queda a la potestad de los participantes en el proceso de desarrollo, y siempre basándose en técnicas descriptivas y medidas cualitativas. No obstante, y dada la existencia de un modelo de dominio previamente definido, sería posible establecer mecanismos de validación que permitieran asegurar la correspondencia entre la especificación realizada y el modelo de dominio utilizado como referencia. Esta posibilidad debería tratarse como trabajo futuro de investigación.

### El diseño por reutilización

La obtención de un método de análisis orientado a reutilización pasa por la aplicación de los principios del diseño por reutilización a la fase de análisis. Un método de análisis orientado a reutilización deberá trabajar en un contexto aislado, deberá realizar el análisis de manera descendente, y deberá disponer de mecanismos para representar la especificidad y la variabilidad del contexto. Una vez establecidos los factores a considerar, se definirá un formulario de evaluación (ver tabla 5.9) que recoja el conjunto de cualidades que condicionan a un método de análisis orientado a reutilización. Por cada una de las cualidades se ha establecido un grado de cumplimiento de cero (0) a tres (3), tomando cero como la ausencia absoluta de la cualidad y tres como su pleno cumplimiento. El método se considerará orientado a reutilización si dispone de cualidades en cada uno de los factores considerados. Así, por ejemplo, si el método trabaja en un contexto aislado pero no es capaz de representar variabilidad no podrá ser considerado como un método orientado a reutilización.

Cualidades del diseño por reutilización	Valoración			
	0	1	2	3
1. El método establece directrices para el estudio y definición de un dominio instructivo de manera aislada	-	-	-	✓
2. La definición del sistema se basa en un modelo de dominio conocido y validado	-	-	-	✓
3. El método propone mecanismos para representar la especificidad del dominio	-	-	-	✓
4. El método proporciona mecanismos para definir o explicar con precisión los elementos comunes del dominio	-	-	✓	-
5. El método propone mecanismos para representar la variabilidad del dominio	-	-	✓	-
6. El método establece criterios para la elección entre las alternativas representadas por la variabilidad	-	-	-	✓
7. El análisis se realiza de manera descendente: desde lo general a lo particular	-	-	-	✓
8. El método controla la posible pérdida de información durante el proceso de diseño descendente	✓	-	-	-

Tabla 5.9: Formulario de evaluación del carácter orientado a reutilización

A continuación, dado el carácter abierto de algunas de las propiedades del diseño por reutilización, se procederá a justificar la puntuación concedida a los distintos factores de interés. En primer lugar, y en lo referente al estudio de un contexto aislado, el método establece directrices para el análisis de un dominio de aplicación concreto. En particular, se ofrece una definición precisa del concepto de dominio instructivo, se identifican aquellos elementos que caracterizan a un dominio instructivo, los contenidos y el tipo de aprendizaje, y se proponen mecanismos de toma de decisión y comprobación el dominio seleccionado. De la misma forma, y tal y como se expuso en el capítulo de solución, el estudio del sistema se basa en un modelo de dominio que especifica el conocimiento de un dominio instructivo aislado, motivo por el cual la condición número dos de la plantilla se valoró con la máxima puntuación.

La segunda propiedad a revisar tiene que ver con la capacidad del método para expresar tanto la especificidad como la variabilidad del dominio. De acuerdo con lo expuesto en el capítulo de solución, la definición del modelo de dominio se basa en el modelado de características. Esta solución se considera óptima para plasmar tanto los aspectos comunes como variables del dominio [35], motivo por el cual se ha otorgado la máxima puntuación a la condición tres; sin embargo, y como aspecto negativo, los modelos de características permiten describir en detalle un dominio pero no garantizan la precisión de la especificación realizada [37]. Aunque el modelo de análisis propuesto complementa el diagrama de características con la definición de reglas de negocio y diagramas de conceptos, la solución no alcanza el nivel de precisión de otras alternativas. Por este motivo, las condiciones cuatro y cinco se han valorado con una puntuación elevada pero no máxima. Finalmente, la propuesta de establecer un peso por característica añade una condición adicional para la selección entre alternativas, lo que permite mejorar la representación de la variabilidad.

La última propiedad de interés tiene que ver con el diseño descendente. El método ComBLA establece un proceso de análisis descendente, partiendo de la representación del conocimiento del dominio, siguiendo con el estudio de las necesidades de los interesados y las condiciones del problema, continuando con el modelo del contexto del problema, y finalizando con la definición del comportamiento y forma de trabajo del sistema a desarrollar. En el lado negativo, el método carece de mecanismos de trazabilidad que aseguren la consistencia de la información durante el proceso de diseño descendente.

### 5.3.2. La evaluación experimental

La evaluación experimental permite probar y examinar de manera empírica las propiedades de un artefacto. La evaluación experimental suele aplicarse en fases postreras del trabajo de investigación como forma de probar cualidades esenciales de la solución elaborada. Entre las posibles técnicas de evaluación disponibles, la evaluación experimental del método ComBLA se basará en la realización de una «prueba de concepto». Una prueba de concepto permite comprobar la viabilidad de un artefacto bajo unas condiciones conocidas y controladas. La ejecución de una prueba de concepto implica la realización de la siguiente secuencia de tareas:

- Selección del contexto. La primera tarea es responsable de establecer las condiciones en las cuales se realizará la prueba de concepto. Permite realizar la prueba en un entorno controlado y conocido.
- Selección del problema. El segundo paso de la evaluación empírica consiste en la elección de un problema específico que se ajuste al contexto previamente establecido.
- Aplicación del artefacto. Se pone en práctica el artefacto como medio para resolver el problema planteado. La aplicación del artefacto conlleva la realización de una serie de actividades fijas y bien delimitadas que deben establecerse durante la preparación de la evaluación.
- Valoración del artefacto. Se determina si el artefacto ha permitido resolver el problema planteado. Dependiendo del tipo de artefacto la ponderación se basará en medias cuantitativas o cualitativas.
- Análisis de resultados. De acuerdo a los resultados de la tarea previa, se establece la utilidad o no del artefacto evaluado.

La prueba de concepto del método ComBLA está dirigida a comprobar la capacidad del método para analizar sistemas de aprendizaje asistido por ordenador tomando como referencia el modelo del dominio instructivo al cual pertenece. La capacidad del método se establecerá en base a medidas cualitativas.

## La preparación de la evaluación

Una prueba de concepto consiste en la utilización de un artefacto en un entorno controlado a fin de comprobar la viabilidad de su aplicación. La prueba de concepto no pretende validar en su totalidad el artefacto, sino demostrar su capacidad para ser utilizado de manera provechosa. La preparación de la prueba de concepto abarca la selección del contexto de realización de la prueba y la selección del problema específico a tratar. A continuación, se expone la preparación de la prueba de concepto del método ComBLA de acuerdo a estos dos parámetros.

### Selección del contexto

La primera tarea de la fase de planificación es la definición del contexto de ejecución de la prueba. La elección del contexto de realización de la prueba de concepto del método ComBLA pasa por la elección, en primer lugar, de un escenario educativo sobre el cual aplicar el método. A partir de los escenarios tipos establecidos en el planteamiento del problema del presente trabajo de investigación, ver sección 3.1.1, se seleccionaron aquellos que por sus características permitan evaluar con mayor precisión la validez de la solución propuesta. En particular, se optó por contemplar la adaptación de un curso existente a un entorno virtual dentro de un contexto reglado. Este escenario se caracteriza por la existencia de un número elevado de restricciones, lo que dificulta sobremanera el proceso de análisis.

Una vez establecido el tipo de escenario educativo, se establece el entorno concreto en el cual se realizará la prueba de concepto. Basándose en la relevancia que ha adquirido el proceso de adaptación al Espacio Europeo de Educación Superior [34], y dada la experiencia del autor de la presente tesis doctoral en la impartición de cursos en titulaciones superiores, se optó por enmarcar la prueba de concepto en el entorno universitario. La prueba de concepto estaría encaminada a analizar un dominio instructivo comprendido dentro de las Ciencias de la Computación para, a partir del modelo de dominio elaborado, guiar la elaboración de un curso piloto desarrollado bajo los principios del Espacio Europeo de Educación Superior. Dado el carácter controlado de la prueba de concepto, su ejecución será realizada por el propio autor de la tesis doctoral, siendo validados sus resultados por docentes expertos en la materia.

### Selección del problema

La elección del problema viene dada por la naturaleza del artefacto a evaluar. El método ComBLA ha sido concebido para analizar un sistema de aprendizaje asistido por ordenador tomando como referencia los principios y técnicas del análisis de dominios. Por tanto, la prueba de concepto tendrá un doble cometido: (1) Probar la capacidad del método para analizar un dominio instructivo; y (2) Comprobar la capacidad del método para utilizar el modelo de un dominio instructivo durante el análisis de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador. A partir de estas premisas, se procedió a la elección de un contexto instructivo de interés para, a continuación, una vez elaborado el modelo de dominio correspondiente, identificar un problema instructivo concreto, acorde a los preceptos establecidos durante el diseño de la prueba de concepto y enmarcado dentro del contexto instructivo seleccionado.

Habitualmente, el proceso de análisis se iniciará con la petición de un cliente de elaborar o adaptar un curso de formación. A partir de la información del curso se identificará y delimitará el dominio instructivo a analizar. En el caso de la prueba de concepto, se ha partido de otro supuesto: la existencia de un área o disciplina de interés de la cual se desea elaborar un modelo que facilite la especificación de futuros cursos de formación. En particular, el caso de prueba propuesto se centra en la disciplina de la *programación de computadores*. La programación de computadores es una actividad compleja cuyo aprendizaje implica un largo periodo de tiempo, caracterizado por la elevada carga de actividades y ejercicios de laboratorio que permitan poner en práctica los conocimientos adquiridos. Esta condición ha motivado que la enseñanza de programación no se adapte adecuadamente al modelo tradicional de enseñanza, basado en la clase maestra y la exposición de contenidos. Asimismo, el hecho de que la programación requiere la constante interacción con un computador ha motivado que la enseñanza de la programación en entornos virtuales haya tenido una especial aceptación y éxito [57]. La suma de estos factores han contribuido a la elección de esta disciplina como objeto de interés de la prueba de concepto.

En segundo lugar, se seleccionó un curso que cumpliera los siguientes requisitos: (1) Un curso relacionado con la disciplina de la programación de computadores; y (2) Un curso impartido en el ámbito de la adaptación al Espacio Europeo de Educación Superior. De acuerdo con estas condiciones, la prueba de concepto se centró en el análisis de un proyecto piloto de un curso de iniciación a la programación. Los

cursos de iniciación a la programación se significan por su elevada tasa de suspensos, consecuencia de la dificultad de instruir a alumnos noveles en una disciplina como la programación de computadores, caracterizada por sus contenidos heterogéneos y por la necesidad de incitar determinadas facultades cognitivas. Este tipo de cursos requieren de un diseño instructivo certero, en el cual la experiencia y el conocimiento del dominio adquiere especial relevancia. La suma de estos factores convierten a los cursos de iniciación a la programación en un buen ejemplo de aplicación del método de análisis. La prueba de concepto se encargará de probar la capacidad del método ComBLA para establecer una configuración básica del curso tomando como referencia el modelo del dominio instructivo correspondiente.

### La conducción de la evaluación

La ejecución de la prueba de concepto se corresponde con la puesta en práctica del método ComBLA, lo que requiere de una explicación detallada de las actividades realizadas y los productos obtenidos. A fin de contener la extensión del presente capítulo la explicación de la prueba de concepto se ha trasladado al anexo C, limitándonos en este apartado a exponer las tareas realizadas. Las tareas acometidas durante la ejecución de la prueba de concepto vienen dadas por la propia estructura del método. En primer lugar, se analizará el dominio del *aprendizaje y la enseñanza de la programación de computadores* con vistas, en primer lugar, a delimitar con precisión el dominio y elaborar, posteriormente, un modelo del dominio. Una vez obtenido el modelo de dominio, se definirán los objetivos educativos que se pretenden alcanzar durante el curso de iniciación a la programación. A partir de estos objetivos educativos, y del modelo de dominio elaborado, se especificará la configuración básica de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador. La definición del método ComBLA incluye una cuarta actividad para el análisis del sistema que no se incluye en la ejecución de la prueba de concepto, la definición del sistema. La justificación a este hecho viene dado por el objetivo definido para la prueba: probar la capacidad del método ComBLA para elaborar un modelo de dominio y utilizar dicho modelo para delimitar un sistema de aprendizaje asistido por ordenador. La exclusión de la actividad de definición se adapta a la filosofía de la prueba de concepto, basada en la aplicación limitada o parcial de un artefacto. La explicación de las tareas a ejecutar por cada una de las actividades evaluadas se refleja en la tabla 5.10.



---

### Actividades para el análisis del dominio

---

#### 1. Establecer el dominio

Se comprueba y delimita la validez del dominio del «aprendizaje y la enseñanza de la programación de computadores».

---

#### 2. Recopilar información

Se revisan las fuentes de información de referencia, estableciendo su adecuación para el dominio instructivo considerado.

---

#### 3. Identificar aspectos de interés

Se identifican los distintos aspectos de interés del dominio. La identificación se realizará de manera progresiva respetando la secuencia de tareas definida por el método.

---

#### 4. Representar aspectos de interés

Se utiliza la notación definida para representar los aspectos de interés del dominio. El objetivo final es la especificación del conocimiento intrínseco al dominio instructivo.

---

---

### Actividades para el análisis del sistema

---

#### 1. Definir el alcance del sistema

Se delimita el escenario educativo y se determinan las condiciones de utilización del sistema. La definición del alcance del sistema abarca la identificación de las necesidades instructivas del curso, las condiciones instructivas, los requisitos operativos y de desempeño esperados del sistema software que asiste el proceso instructivo.

---

#### 2. Establecer la configuración del sistema

Se establece el conjunto mínimo de características que definen al sistema. La actividad de configuración del sistema contempla tareas dirigidas a establecer dos tipos de realidades: el proceso instructivo y el sistema software que lo asistirá.

---

Tabla 5.10: Tareas a ejecutar durante la prueba de concepto

### 5.3.3. La evaluación experta

La evaluación experta consiste en recopilar la opinión vertida por expertos en el campo de aplicación del artefacto tras el uso, aplicación o estudio del artefacto evaluado. La evaluación experta es un método de evaluación recomendado para valorar artefactos novedosos o innovadores; más aún, se considera un medio especialmente adecuado para establecer argumentos convincentes sobre la utilidad y eficacia de un artefacto de diseño. La valoración del artefacto en base a la opinión de expertos conlleva la realización de las siguiente secuencia de tareas:

- Elección de evaluadores. Se establece el perfil que deben cumplir aquellos expertos que actuarán como evaluadores. Además, se establece el número adecuado de evaluadores para considerar los resultados obtenidos como vinculantes.
- Preparación de cuestionarios. Se seleccionan los aspectos a valorar y se elaboran los cuestionarios que se suministrarán a los evaluadores.
- Presentación del artefacto. Se expone a los evaluadores los aspectos principales del artefacto incidiendo en aquellos que se desean valorar. La presentación del artefacto puede realizarse o no de manera presencial.
- Valoración del artefacto. Se obtiene la opinión de los expertos sobre el artefacto a través de formularios o entrevistas. La recogida de opiniones se realizará durante un periodo de tiempo establecido de antemano. Los resultados obtenidos se procesarán de manera estadística a fin de permitir la posterior elaboración de conclusiones.
- Análisis de resultados. De acuerdo con las opiniones vertidas por los expertos, se establecen conclusiones sobre la validez del artefacto evaluado.

La dos primeras tareas de este proceso se corresponden con el diseño de la evaluación y la definición de las condiciones en las cuales se obtendrá la opinión experta. La presentación y valoración del artefacto se encuadran dentro de la ejecución de la evaluación experta. A continuación, se expondrán las características principales de la preparación y la conducción de la evaluación experta.

## La preparación de la evaluación

La valoración del beneficio aportado por un artefacto puede determinarse mediante variables cuantitativas o cualitativas. En el caso del método ComBLA, dado su carácter novedoso, la valoración del beneficio se basará en opiniones subjetivas emitidas por expertos en el contexto del trabajo. La opinión de estos expertos permitirá complementar los resultados obtenidos por las evaluaciones anteriores, concretando la calidad, utilidad y eficacia de la solución evaluada.

### Elección de evaluadores

La primera tarea de la fase de preparación de la evaluación experta es la elección de evaluadores. La elección de evaluadores determinará el perfil y número de expertos participantes en la valoración de la solución. En el caso de la evaluación del método ComBLA, los evaluadores se corresponderán con expertos en las siguientes áreas:

- Tecnologías educativas. El método ComBLA pretende realizar una aportación en el dominio de la educación, proporcionando una herramienta que permita sistematizar el desarrollo de sistemas de aprendizaje asistidos por ordenador. Por este motivo, se recurrirá a expertos en tecnologías educativas para comprobar si el método proporciona artefactos adecuados para estudiar y especificar de manera sistemática tanto el contexto educativo como el proceso de aprendizaje.
- Enseñanza asistida por ordenador. La definición del método ComBLA tiene por objetivo aplicar el análisis de dominios al campo de la enseñanza asistida por ordenador. La valoración de la utilidad del método será realizada por expertos en el diseño y desarrollo de la instrucción asistida por ordenador. La opinión de este tipo de evaluadores permitirá conocer si el método analiza convenientemente el conocimiento intrínseco a un dominio instructivo.
- Ingeniería del software. El método ComBLA se basa en la aplicación de los principios de la ingeniería del software al campo de la enseñanza asistida por ordenador. A fin de corroborar el cumplimiento de estos principios, se seleccionarán expertos en el desarrollo de sistemas software que valorarán tanto la formulación del método como su forma de trabajo.

Dado que el propósito último del método es simplificar la elaboración de cursos de enseñanza asistidos por ordenador, se seleccionarán como evaluadores a docentes con una experiencia mínima de tres años. Junto a la definición del perfil es necesario establecer el número de participantes en la evaluación. La teoría estadística [84] determina una muestra de dieciséis individuos como estadísticamente relevante; sin embargo, si la cuestión planteada requiere de conocimientos previos o de un perfil de evaluación concreto, un número de diez respuestas puede considerarse suficiente para establecer tendencias certeras. En el caso del presente trabajo, dado el carácter específico tanto de la solución a evaluar como del perfil de los evaluadores, se ha establecido el número mínimo de evaluadores en diez. Así mismo, y a fin de tener un resultado fiable, la proporción entre tipos de expertos deberá ser equilibrada aunque no obligatoriamente equivalente.

### **Preparación de cuestionarios**

Una vez establecida la naturaleza de los expertos que actuarán como evaluadores, se elaboran los cuestionarios de evaluación. En primer lugar, se definen los aspectos de interés sobre los cuales versarán las cuestiones a plantear. En el caso de la evaluación del método ComBLA, estos aspectos se corresponden con:

- La formulación del método. Las cuestiones pretenden conocer la opinión de los expertos sobre la coherencia y rigor de la formulación del método. Los resultados obtenidos complementarán a la evaluación analítica a la hora de establecer la calidad del método.
- El análisis del problema. Se cuestionará a los expertos sobre la definición del dominio instructivo, los criterios establecidos para delimitar su alcance, la corrección del modelo y la validez del proceso. Los resultados obtenidos permiten establecer la utilidad del método para aplicar el análisis de dominios al campo de la enseñanza asistida por ordenador.
- Los beneficios del método. El método ComBLA se concibió para mejorar el análisis de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador. Las mejoras pretenden incrementar la sistematización del proceso, facilitar la comunicación entre participantes y fomentar la reutilización de componentes. Las cuestiones formuladas a los usuarios versarán sobre estos aspectos.

Una vez identificados los aspectos de interés, se acomete el diseño de los cuestionarios propiamente dicho: se establece el tipo de preguntas a incluir, se identifican las variables a considerar y, en el supuesto de la existencia de preguntas cerradas, se determinan las posibles respuestas y la escala de valoración a utilizar. En el caso de la evaluación del método ComBLA, el cuestionario de evaluación se corresponderá con un *cuestionario mixto*; es decir, el cuestionario combina preguntas abiertas, completadas libremente por el evaluador, y cerradas, cuya respuesta está limitada a unos valores predeterminados. En el caso de las preguntas cerradas, se plantearon un total de veintiuna preguntas (ver tabla 5.11) relativas a aspectos cualitativos del método ComBLA. La respuesta a estas cuestiones se basa en una escala Likert [108] de cinco valores. La escala Likert es una herramienta para la medición del grado de satisfacción de un individuo. El juicio u opinión del individuo sobre factores cualitativos o relacionados con su apreciación de la realidad se recoge en base a un conjunto de items recomendados. Por cada uno de los items se establece el grado de satisfacción del individuo y un valor numérico que permite tratar estadísticamente los resultados. En este trabajo, se utilizará la siguiente escala de valores: (1) Totalmente en desacuerdo; (2) En desacuerdo; (3) Indiferente (Con carácter positivo); (4) De acuerdo; y (5) Totalmente de acuerdo. El carácter equidistante de la escala de Likert llevará a analizar no sólo la media obtenida en cada una de las respuestas sino también la mediana y el intervalo de confianza de las mismas. De esta manera, se podrá determinar si el juicio de los expertos es positivo y si este es suficientemente rotundo como para dar el enunciado como validado. Las preguntas cerradas se complementará con preguntas abiertas en las cuales se solicitará a los evaluadores su opinión sobre la formulación del método, el modelo de análisis y el proceso de análisis, respectivamente. El tratamiento de estas respuestas permitirá ponderar los resultados obtenidos mediante las preguntas cerradas del cuestionario. Por último, y a fin de disponer de información estadística sobre el perfil de los evaluadores, se formularon preguntas sobre sus conocimientos, áreas de interés y experiencia en el contexto de la enseñanza asistida por ordenador. El tratamiento de esta información permite identificar la existencia de tendencias o patrones en los juicios formulados en función del perfil del evaluador. El diseño completo de los cuestionarios presentados a los evaluadores se recoge en el anexo D de la presente memoria.

---

P01.	La relación entre actividades está establecida con claridad
P02.	Existe correspondencia entre los objetivos de una actividad y las tareas acometidas en la misma
P03.	Existe correspondencia entre los objetivos de una actividad y el producto obtenido de la misma
P04.	Las actividades del método le han parecido bien organizadas y estructuradas
P05.	La plantilla de definición de las distintas actividades del método le ha parecido completa
P06.	La plantilla de definición de los distintos modelos del método le ha parecido completa
P07.	La descripción de las actividades del método le ha parecido suficiente para aplicarlas sin disponer de formación previa
P08.	La definición de dominio establecida en la solución permite identificar un dominio instructivo cualquiera
P09.	La delimitación del dominio instructivo mediante los contenidos es suficiente
P10.	Las fuentes de información identificadas se pueden considerar como suficientes para estudiar un dominio instructivo
P11.	Las fuentes de información identificadas proporcionan información que podemos calificar como fiable; es decir, sin error y fidedigna
P12.	La definición de característica le parece correcta: permite identificar las características del dominio
P13.	La estructura jerárquica de un diagrama de características le parece comprensible por individuos sin experiencia en el desarrollo de sistemas
P14.	Las facetas definidas para clasificar las características de un dominio instructivo le parecen completas y correctas
P15.	Las pautas sugeridas para delimitar el alcance de un dominio instructivo le parecen suficientes
P16.	Las tareas establecidas para identificar los objetivos educativos le parecen suficientemente detalladas
P17.	La secuencia de tareas definida para delimitar la configuración del sistema le parece minuciosa
P18.	El proceso de análisis definido obliga a considerar el conjunto de factores que intervienen en el desarrollo de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador
P19.	La definición de un modelo de dominio promueve la reutilización de recursos instructivos
P20.	La definición de un modelo de dominio facilita la comunicación entre los participantes en el proceso de análisis del sistema
P21.	La definición de un modelo de dominio reduce la relevancia de la experiencia en el diseño de la instrucción

---

Tabla 5.11: Preguntas cerradas recogidas en el cuestionario de evaluación

## La conducción de la evaluación

La realización de la evaluación experta consiste en la entrega a los evaluadores de información referida al artefacto a evaluar y la posterior recogida de las opiniones de los evaluadores. La evaluación experta del método ComBLA se basó en el juicio expresado sobre la formulación del método, su estructura y el resultado obtenido durante la prueba de concepto. A continuación, se describe la evaluación realizada, exponiendo de manera independiente la forma en la cual se presentó el artefacto a los evaluadores y las valoraciones realizadas por los mismos.

### Presentación del artefacto

La presentación del artefacto a los evaluadores expertos se realizó a través de una sitio web, ver la página principal del sitio en la figura 5.1, localizada en una ubicación pública. El sitio ofrecía información sobre la solución elaborada, sobre el estado de la investigación, sobre la prueba de concepto realizada, así como acceso a los cuestionarios de evaluación. En particular, respecto a la información sobre la solución elaborada, se incluyó un resumen sobre el trabajo de investigación, la explicación de los principios y fundamentos de la solución, y una breve descripción de la estructura y componentes del método ComBLA. La descripción del método se completó con la definición detallada y pormenorizada realizada en un documento en formato PDF accesible desde el mismo sitio web. Este mismo mecanismo, un enlace a un fichero PDF ubicado en el sitio web, se empleó para suministrar la información sobre la prueba de concepto realizada. En cuanto a los cuestionarios de evaluación, se ofrecieron dos alternativas a los evaluadores: (1) Completarlos utilizando una herramienta para la realización de cuestionarios *online*; o (2) Responder manualmente y remitirlos utilizando alguno de los medios indicados en el apartado de «Contacto». Para facilitar la labor de los evaluadores, se proporcionó un acceso directo desde la página principal del sitio web a la herramienta para la realización de cuestionarios. A fin de garantizar la fiabilidad de las respuestas recibidas, y dado que el sitio web se ubicó en un espacio público, se incluyó un mecanismo de autenticación que impedía el acceso a los cuestionarios por individuos no deseados. La figura 5.2 muestra un extracto del cuestionario *online*. Como puede apreciarse en la figura, el cuestionario sigue el mismo formato que el recogido en el anexo D de la presente memoria.

**El método ComBLA**  
La Aplicación del Análisis de Dominios al Desarrollo de Sistemas de Aprendizaje Asistido por Ordenador

[Principal](#) | [Descripción de la solución](#) | [El método ComBLA](#) | [Cuestionarios de evaluación](#) | [Contacto](#)

El presente sitio web ha sido habilitado para realizar la evaluación experta de la tesis doctoral de título:

*"El método ComBLA. La Aplicación del Análisis de Dominios al Desarrollo de Sistemas de Aprendizaje Asistido por Ordenador"*

Si ha sido designado como evaluador, por favor, consulte la información proporcionada y complete los cuestionarios de evaluación habilitados.

Si lo desea, y le resulta más cómodo, puede descargar un documento PDF con la información disponible del siguiente enlace:

[Evaluacion.pdf](#)

Gracias por su colaboración

### Resumen

El desarrollo de la enseñanza asistida por ordenador es una actividad compleja que requiere tanto del diseño del proceso instructivo, como de la elaboración de un sistema informático acorde al mismo. Fruto de esta dificultad ha surgido una línea de investigación encaminada a mejorar el proceso de desarrollo de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador. Una de las etapas más sensibles de este proceso de desarrollo, y uno de los motivos fundamentales de la calidad del producto elaborado, es la fase de análisis. El problema radica en la ausencia de herramientas precisas de análisis, poco adecuadas para integrar el conocimiento de los diferentes perfiles (diseñadores instructivos, docentes, analistas de sistemas, etc.) presentes en el desarrollo de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador.

El objetivo principal de nuestra tesis doctoral ha sido definir un método de análisis específico para el desarrollo de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador. El método pretendía aplicar los principios del Análisis de Dominios al campo de la Enseñanza Asistida por Ordenador como medio para mejorar la actividad de análisis. El método definido, denominado método ComBLA, ha tomado como ejemplo distintos modelos del desarrollo de la instrucción y el desarrollo de software para proponer: (1) Un modelo que permite representar adecuadamente tanto el conocimiento de un dominio instructivo como las necesidades y condiciones del sistema a desarrollar; (2) Una secuencia de pasos que permita analizar el problema en toda su complejidad. La intención final es incrementar la calidad del producto desarrollado, facilitando la reutilización de materiales.

Hasta el momento, la validez del método ComBLA se ha probado mediante la realización de una prueba de concepto y la evaluación analítica de sus cualidades intrínsecas. A fin de complementar estas evaluaciones, y asegurar la calidad y utilidad del método, se desea realizar la evaluación experta de la solución elaborada. El presente sitio web ofrece una visión general del método ComBLA a fin de proporcionar la información imprescindible para valorar las cualidades del método.

Universidad Carlos III de Madrid | Departamento de Informática | Laboratorio DEI

Figura 5.1: Página principal del sitio web para la evaluación experta

Evaluación experta - Método ComBLA

[Abandonar->](#) [Continuaré más tarde](#)

### 2.- Cuestiones sobre la formulación del método

Las siguientes cuestiones están relacionadas con la formulación del método. Por favor, exprese su opinión acerca de las distintas cuestiones planteadas.

\*1. La relación entre actividades está establecida con claridad

☐ Totalmente en desacuerdo ☐ En desacuerdo ☐ Indiferente ☐ De acuerdo ☐ Totalmente de acuerdo

\*2. Existe correspondencia entre los objetivos de una actividad y las tareas acometidas en la misma

☐ Totalmente en desacuerdo ☐ En desacuerdo ☐ Indiferente ☐ De acuerdo ☐ Totalmente de acuerdo

\*3. Existe correspondencia entre los objetivos de una actividad y el producto obtenido de la misma

☐ Totalmente en desacuerdo ☐ En desacuerdo ☐ Indiferente ☐ De acuerdo ☐ Totalmente de acuerdo

\*4. Las actividades del método le han parecido bien organizadas y estructuradas

☐ Totalmente en desacuerdo ☐ En desacuerdo ☐ Indiferente ☐ De acuerdo ☐ Totalmente de acuerdo

\*5. La plantilla de definición de las distintas actividades del método le ha parecido completa

☐ Totalmente en desacuerdo ☐ En desacuerdo ☐ Indiferente ☐ De acuerdo ☐ Totalmente de acuerdo

\*6. La plantilla de definición de los distintos modelos del método le ha parecido completa

☐ Totalmente en desacuerdo ☐ En desacuerdo ☐ Indiferente ☐ De acuerdo ☐ Totalmente de acuerdo

\*7. La descripción de las actividades del método le ha parecido suficiente para aplicarlas sin disponer de formación previa

☐ Totalmente en desacuerdo ☐ En desacuerdo ☐ Indiferente ☐ De acuerdo ☐ Totalmente de acuerdo

8. Comentarios adicionales sobre la formulación del método

[<-Anterior](#) [Siguiente->](#)

Pag. 2 / 4

Figura 5.2: Extracto del cuestionario online



La invitación a participar en la evaluación experta del método ComBLA se cursó a través de correo electrónico. A cada uno de los expertos seleccionados se les envió un mensaje personalizado en el cual se les informaba del motivo del correo, se les invitaba a participar en la evaluación experta, y se les suministraba el código de usuario y la contraseña necesarios para acceder a los cuestionarios de evaluación. Así mismo, en el correo se solicitaba a los expertos que confirmaran la recepción del mensaje y su intención de participar en la evaluación. La invitación se envió a un total de veintidós expertos, todos ellos investigadores miembros de la comunidad universitaria. De los mensajes enviados, se recibió el acuse de recibo en diecisiete casos, siendo la respuesta positiva o de aceptación a participar en la evaluación en quince ocasiones. El último aspecto a mencionar tiene que ver con el periodo de tiempo durante el cual se habilitó el cuestionario de evaluación. Tanto el sitio web como los cuestionarios estuvieron disponibles para los evaluadores durante un mes. Durante este tiempo se recibieron dos solicitudes de información adicional, y no se registró ningún error ni en el sitio web ni en la herramienta para la realización de cuestionarios *online*

### **Valoración del artefacto**

La valoración del artefacto se corresponde con el estudio de los evaluadores expertos de la información proporcionada y la respuesta por su parte de los cuestionarios de evaluación. A pesar de haber recibido quince mensajes de aceptación a la invitación de participar en la evaluación experta del método ComBLA, se recibieron únicamente catorce respuestas, todas a través del cuestionario *online*. De las respuestas recibidas, tres debieron ser eliminadas: dos de ellas por no haberse completado el cuestionario en su totalidad, y una adicional que, tras un estudio cuidadoso de la traza de la herramienta de encuesta, se comprobó había sido realizada desde la misma dirección IP, con los mismos resultados, y en la misma fecha y hora que otra respuesta ya registrada. Este hecho indicaba que se trataba de un error producido a la hora de registrar la respuesta en la herramienta para la realización de cuestionarios, motivo por el cual se optó por su eliminación. La tabla 5.12 recoge el área de conocimiento de los once participantes en la evaluación experta. Tal y como se expuso en la preparación de la evaluación, un número de once evaluadores se considera estadísticamente relevante en las condiciones de realización de la evaluación y, por tanto, válido para el posterior análisis de resultados.

Id. del evaluador	Campo de conocimiento			
	Tec. Educativas	EAO	Ing. Software	Otros
Evaluador 1	✓	-	-	-
Evaluador 2	✓	✓	✓	-
Evaluador 3	✓	-	-	-
Evaluador 4	✓	✓	-	-
Evaluador 5	-	✓	✓	-
Evaluador 6	-	-	✓	✓
Evaluador 7	-	✓	✓	-
Evaluador 8	✓	✓	✓	-
Evaluador 9	✓	-	-	-
Evaluador 10	-	-	-	✓
Evaluador 11	-	✓	✓	-
Total	6	6	6	2

Tabla 5.12: Resumen del perfil de los evaluadores participantes

En lo que se refiere a los resultados, estos fueron registrados por la herramienta de encuesta, y convenientemente descargados y revisados para su posterior tratamiento y análisis. El número de respuestas por cada una de las opciones y preguntas cerradas del cuestionario se muestra en la tabla 5.13. Junto a las respuestas obtenidas se recoge el cálculo del valor medio y la mediana de cada pregunta. El motivo de reflejar tanto la media como la mediana se explica por la propia condición de la escala Likert. La escala Likert puede interpretarse como una escala nominal; es decir, no podemos asumir que los evaluadores perciban las respuestas como equidistantes y, por tanto, en este caso el valor medio carece de sentido y es necesario recurrir al valor de la mediana para elevar conclusiones. Sin embargo, el hecho de mostrar las posibles respuestas en una escala horizontal (ver figura 5.2) y el que las respuestas estén situadas a una distancia equidistante, puede llevar a los evaluadores a asumir que nos encontramos ante una escala ordinal, en la cual el orden de las respuestas determina el grado de cumplimiento de la condición, situación en la cual la media sí adquiere sentido como dato estadístico.

Pregunta	Número de respuestas obtenidas					Cálculo estadístico	
	1	2	3	4	5	Media	Mediana
P01.	0	1	1	5	4	4,09	4
P02.	0	0	1	8	2	4,09	4
P03.	0	1	2	6	2	3,82	3
P04.	0	1	2	6	2	3,82	4
P05.	0	1	4	4	2	3,64	4
P06.	0	1	3	5	2	3,73	4
P07.	0	5	5	1	0	2,64	3
P08.	0	1	2	6	2	3,82	4
P09.	0	8	2	1	0	2,36	2
P10.	0	2	1	2	6	4,09	5
P11.	0	2	1	3	5	4,00	4
P12.	0	0	1	7	3	4,18	4
P13.	0	1	1	6	3	4,00	4
P14.	0	3	1	5	2	3,55	4
P15.	0	2	1	8	0	3,55	4
P16.	0	1	1	6	3	4,00	4
P17.	0	1	3	5	2	3,73	4
P18.	0	1	2	6	2	3,82	4
P19.	0	3	4	3	1	3,18	3
P20.	0	2	1	4	4	3,91	4
P21.	0	4	4	1	2	3,09	3

[Valoración de las posibles respuestas]

1. Totalmente en desacuerdo
2. En desacuerdo
3. Indiferente (Con carácter positivo)
4. De acuerdo
5. Totalmente de acuerdo

Tabla 5.13: Resumen de las respuestas obtenidas en las preguntas cerradas

## 5.4. El análisis de resultados

El último paso de la evaluación es responsable de la revisión de resultados y la elaboración de conclusiones. El propósito último de la actividad es formular una serie de afirmaciones que permitan establecer el cumplimiento por parte de la solución de los objetivos establecidos al inicio del trabajo. De acuerdo con esta intención, el análisis de resultados se dividirá en dos apartados, correspondientes cada uno de ellos a un grupo de objetivos específicos de la presente tesis doctoral.

### 5.4.1. La labor de análisis

El presente trabajo de investigación pretendía realizar una aportación significativa en el campo del desarrollo de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador. Para ello, y con el objetivo de mejorar la etapa de análisis, se propuso la definición de un método basado en la aplicación del análisis de dominios al contexto de la enseñanza asistida por ordenador. Independientemente de la forma de trabajo propuesta, y de la técnica de análisis utilizada, la solución propuesta debe mostrar su capacidad para analizar un sistema de aprendizaje asistido por ordenador. La comprobación de esta condición, tal y como se expuso con anterioridad, se ha correspondido con la evaluación de la calidad y la eficacia del artefacto de diseño propuesto como solución. A continuación, se analizarán los resultados obtenidos con respecto a la labor de análisis al evaluar estas dos cualidades.

#### La calidad del método

La calidad de la solución se ha definido en función de la corrección, la completitud y la consistencia del método; entendiendo estas cualidades como la capacidad de realizar las tareas propias de su condición, de considerar el problema en su totalidad, y de garantizar la correspondencia entre elementos, respectivamente. La valoración de la calidad se ha realizado mediante la evaluación analítica y descriptiva de la estructura del método, comprobando el cumplimiento o no de las propiedades intrínsecas identificadas durante la preparación de la evaluación. Los resultados de la evaluación y las consideraciones extraídas de la misma se exponen en los siguientes apartados.

### Corrección

La valoración de la corrección ha permitido evaluar el primero de los objetivos específicos del método de análisis: la definición de un método de análisis correcto. El objetivo 1.1 del trabajo de investigación se enunció en los siguientes términos:

*Proporcionar un método de análisis correcto, entendiendo por tal un método que respete los principios propios de la labor de análisis. Un método de análisis correcto deberá disponer tanto de un proceso de análisis que guíe la labor de estudio como de un modelo de análisis que determine la forma de especificar el problema.*

La evaluación analítica y experimental del método ComBLA ha demostrado que este permite tanto el estudio como la representación del problema a fin de comprenderlo. Para la primera labor, el método propone un proceso de análisis encargado de estudiar tanto el escenario educativo como el sistema software que lo satisface; en lo que respecta a la representación, se ha definido una notación específica que permite representar el problema mediante sucesivos modelos del mismo. Por tanto, la ejecución de la evaluación nos confirma la corrección del método ComBLA, y corrobora su validez para el análisis de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador.

### Compleitud

El segundo de los objetivos específicos del trabajo se refiere a la completitud del artefacto. El objetivo 1.2 del trabajo se enunció de la siguiente manera:

*Disponer de un método que permita la especificación completa del problema, evitando omisiones que puedan suponer la incomprensión de algunos de los factores presentes en el mismo.*

La valoración de la completitud es uno de los aspectos críticos de la medición de la calidad de un artefacto software. Incluso en el supuesto de uso de método formales no es posible garantizar, con certeza plena, la completitud de la especificación [151]. En el caso del presente trabajo, la formulación comedida del objetivo simplifica esta tarea, reduciendo la evaluación de la completitud al estudio de una serie de factores identificados durante el planteamiento del problema.

La plantilla de evaluación de la completitud valoró tanto la existencia de un proceso y un modelo de análisis como el carácter completo de ambos componentes. En lo referente al proceso de análisis, tal y como se muestra en la tabla 5.7, el método obtiene los mejores resultados en lo referente a su capacidad para estudiar el escenario educativo. Gracias a haber tomado como referencia propuestas existentes tanto en el diseño de la instrucción como en el desarrollo de la instrucción asistida por ordenador, el método establece actividades y tareas precisas que permiten especificar los objetivos educativos, los contenidos, el perfil del alumno, los métodos de instrucción y las actividades de aprendizaje necesarias. De la misma manera, aunque con una valoración ligeramente inferior, el método establece tareas específicas para el estudio de las condiciones externas al sistema que condicionan su utilización: aspectos administrativos, operativos, tecnológicos, etc. Así mismo, como gran novedad frente a los métodos y modelos existentes, el proceso de análisis del método contempla el estudio de las actividades de soporte del sistema; es decir, aquellas tareas que formando parte de la operativa del sistema no tienen que ver con la forma en la cual se acomete el proceso de aprendizaje. En lo concerniente al modelo de análisis, el método establece artefactos software que permiten representar el conocimiento de un dominio instructivo y especificar el tipo de sistema a desarrollar. Las puntuaciones más bajas en la valoración del modelo se otorgaron a la definición de los participantes en el proceso instructivo y a la representación del contexto de utilización del sistema. En el primer caso, el modelo se centra en la representación de las propiedades de los estudiantes, dejando de lado el papel de otros actores como administradores o tutores; en el caso de la representación del contexto, el modelo propuesto presenta una definición muy flexible pero, a la vez, poco precisa, lo que puede influir negativamente en la completitud del mismo.

A pesar del carácter exhaustivo de la revisión realizada y la minuciosidad de la plantilla de evaluación utilizada, la evaluación analítica de la completitud se complementó con la evaluación descriptiva del método ComBLA. A fin de ratificar los juicios formulados tras la evaluación analítica, se cuestionó a los expertos sobre la completitud tanto del proceso de análisis (la capacidad del proceso de análisis definido para considerar el conjunto de factores presentes en el desarrollo de sistemas de aprendizaje asistidos por ordenador) como del modelo de análisis (la definición de un conjunto de facetas completo y correcto que abarque la totalidad del dominio)

Por lo que respecta al proceso de análisis, tal y como se recoge en la figura 5.3, la valoración obtenida fue bastante alta, con una mediana de valor cuatro que refleja la aceptación por parte de los evaluadores. Además, el intervalo de confianza muestra que con una probabilidad del 95 % la respuesta de los evaluadores se situaría entre el tres y el cuatro y medio. Teniendo en cuenta que el valor intermedio se definió como *Indiferente (Con carácter positivo)* se puede considerar que los evaluadores consideran el proceso de análisis como completo. En cuanto a la completitud de las facetas definidas los resultados obtenidos muestra una mayor controversia. Por un lado, aunque la mediana se sitúa también en el cuatro, el intervalo de confianza se sitúa en su límite inferior por debajo de la respuesta intermedia; por otro, se observa una dispersión en las respuestas, caracterizada por la existencia de casi tantas respuestas en desacuerdo como respuestas en total acuerdo. Un estudio más detallado del perfil y comentarios de los evaluadores nos revela dos hechos:

- Los evaluadores *en desacuerdo* eran en todos los casos expertos en tecnologías educativas, mientras que los *totalmente de acuerdo* se correspondieron con expertos en ingeniería del software.
- Los evaluadores *en desacuerdo* realizaron comentarios desfavorables sobre la capacidad de las facetas para describir el contexto instructivo, así como factores sensoriales o sensitivos asociados al mismo

Los resultados de la evaluación descriptiva corroboraron algunas de las conclusiones obtenidas tras la revisión analítica del método. El modelo de dominio definido es adecuado para reflejar conocimiento estructurado y estable pero presenta limitaciones para recoger aquellos aspectos referidos al contexto instructivo que implican subjetividad o dependen de tareas de difícil monitorización. A pesar de las distintas limitaciones y consideraciones, el método ComBLA se puede considerar como un método de análisis completo. El método proporciona pautas suficientemente detalladas como para especificar la gran mayoría de factores que intervienen en el desarrollo de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador. La especificación completa del problema quedará a potestad o responsabilidad de los participantes en el proceso de análisis, pero siempre disponiendo de una guía minuciosa y cabal que establezca la naturaleza y tipo de los factores a considerar. La vigencia de estas opiniones ha sido confirmada mediante la ejecución de la prueba de concepto y la bondad de los resultados obtenidos.

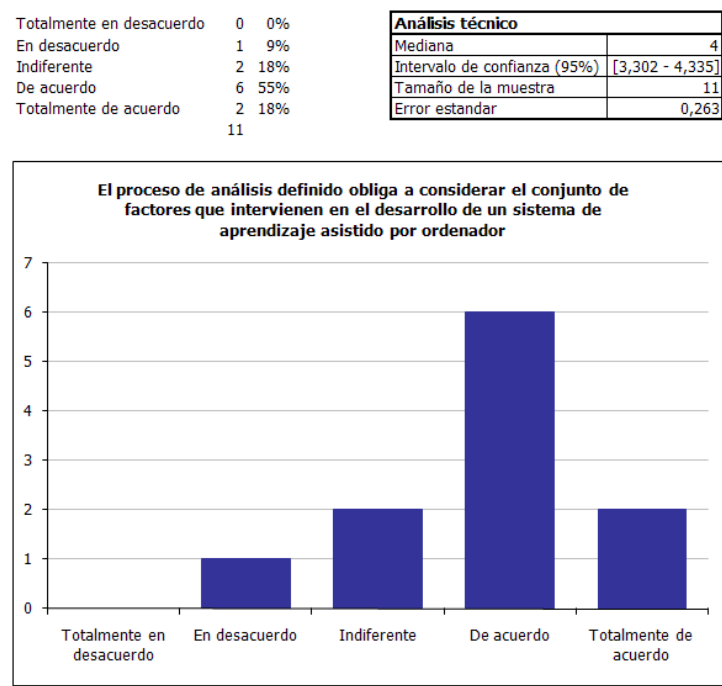


Figura 5.3: Resultado de la pregunta cerrada P18

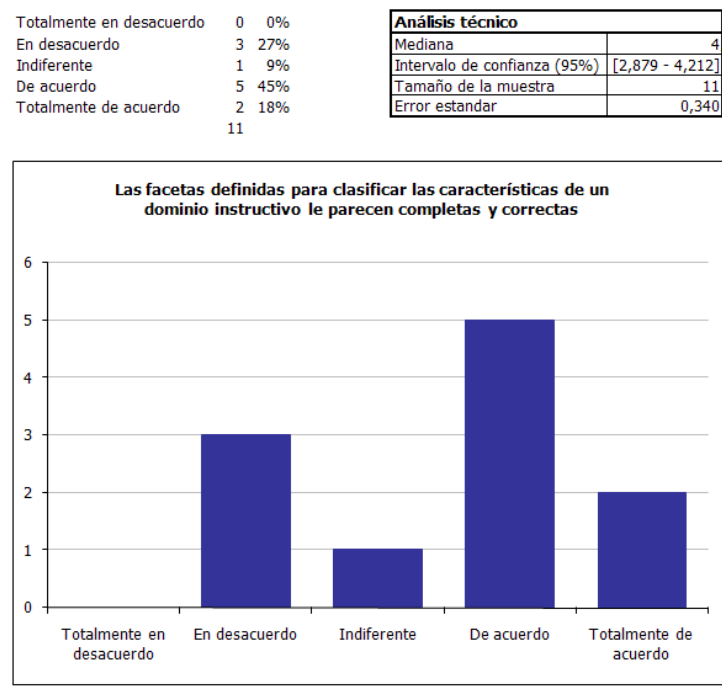


Figura 5.4: Resultado de la pregunta cerrada P14



## Consistencia

La consistencia, en su definición más estricta, refiere la existencia de una correspondencia entre los requisitos identificados y la especificación obtenida. Sin embargo, la definición de los objetivos específicos del trabajo suaviza esta condición y supe- dita la consistencia del método a la existencia de una correspondencia entre sus componentes. La formulación del objetivo 1.3 se realizó en los siguientes términos:

*Disponer de un método que asegure la consistencia entre sus distintos componentes. La consistencia entre componentes se tratará desde dos puntos de vista: (1) No existe contradicción entre las actividades del proceso; y (2) Existe correspondencia entre el proceso ejecutado y los productos obtenidos.*

La propia definición del objetivo fija las pautas a considerar a la hora de evaluar su cumplimiento. La evaluación del objetivo se ha realizado mediante dos técnicas de evaluación: el análisis estático de la estructura del método y la opinión de expertos. En lo que respecta al análisis estático, se han enunciado una serie de asertos que demuestran la existencia de una relación entre los distintos componentes del método. Esta relación no garantiza la correspondencia entre requisitos y producto del análisis, pero sí la trabazón y coherencia del método, lo que permite constatar el cumplimiento del objetivo establecido.

La evaluación analítica de la consistencia, dado su carácter subjetivo, se ha complementado con la recopilación de la opinión de expertos. La evaluación experta pretendía someter al juicio de expertos la definición de los distintos artefactos del método a fin de conocer su opinión sobre la relación existente entre los mismos. Los evaluadores seleccionados valoraron la dependencia entre las actividades del método, la correspondencia entre las actividades definidas y los productos obtenidos, así como la concordancia entre los objetivos de la actividad y las tareas acometidas en la misma. La realización de estas valoraciones se corresponden, respectivamente, con las cuestiones uno, dos y tres del bloque *Cuestiones sobre la formulación del método* del cuestionario de evaluación. Los resultados obtenidos en estas cuestiones se exponen en detalle en las figuras 5.5, 5.6 y 5.7.

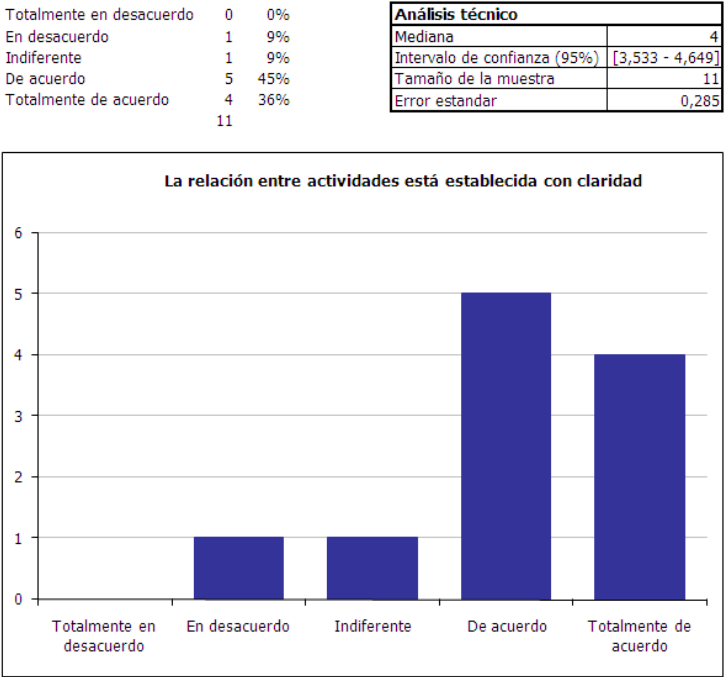


Figura 5.5: Resultado de la pregunta cerrada P01

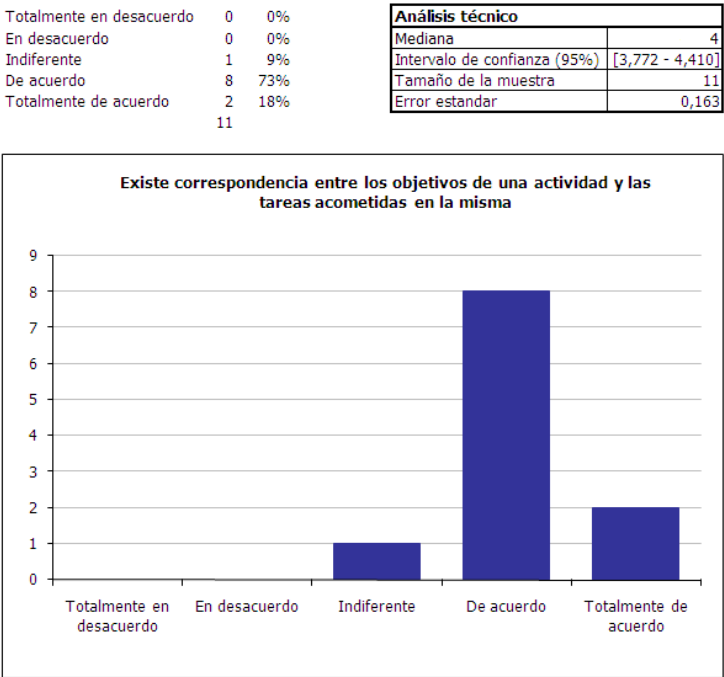


Figura 5.6: Resultado de la pregunta cerrada P02

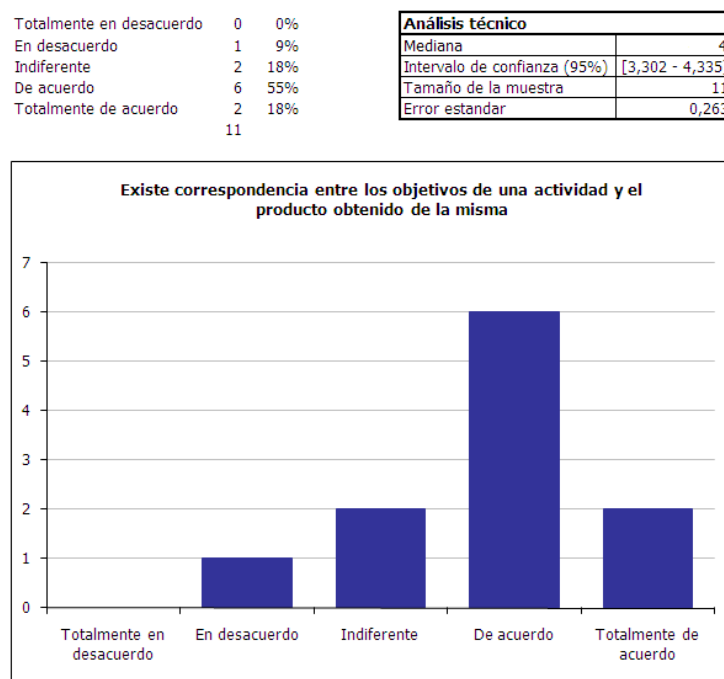


Figura 5.7: Resultado de la pregunta cerrada P03

El estudio de los resultados obtenidos muestra, en los tres casos, una mediana de valor cuatro, correspondiente al valor *de acuerdo*, por lo que puede concluirse que los evaluadores consideraron la formulación del método ComBLA como consistente. Esta conclusión se refrenda con el estudio del intervalo de confianza de la muestra: en todos los casos, y con un nivel de confianza del 95 %, la respuesta de los evaluadores se situaría en el rango que podemos considerar de aceptación, entre el tres y medio y el cuatro y medio, lo que demuestra la distribución favorable de las respuestas de los evaluadores. Finalmente, la comprobación de los porcentajes obtenidos por cada una de las posibles respuestas, muestra que la opinión de los evaluadores se sitúa, mayoritariamente, entre la aceptación y la plena aceptación de la consistencia del método. No obstante, y con vistas a introducir posibles mejoras en la definición del método, se revisó en detalle la opinión de aquellos expertos que valoraron de manera negativa tanto relación entre actividades como la correspondencia entre actividades y productos. Para ello, se revisaron los comentarios introducidos por estos expertos en la pregunta abierta del bloque de formulación del método ComBLA, por si los mismos tenían o no relación con las preguntas valoradas de manera más negativa.

En el caso considerado, ambas valoraciones de desacuerdo se correspondieron a un mismo evaluador, el cual aportó el siguiente comentario:

*”La relación secuencial entre actividades parece implícita en el orden en que éstas se definen pero esto no se indica. También se observa que de cada fase de análisis se obtiene un modelo pero no se «ven» los productos concretos de cada actividad.”*

Aunque la relación entre actividades no se estableció únicamente por su orden, sino que se mencionaba expresamente en el apartado de *precondiciones* de la actividad, y que por cada actividad se indicaban los productos esperados, se realizó un pequeño añadido en la definición de las actividades del método: se incluyó en la exposición general del proceso de análisis una tabla que muestra la dependencia entre actividades y productos del método. La explicación detallada de este diagrama se incluyó como parte de la explicación de las etapas de *análisis del dominio* y *análisis del sistema* del proceso de análisis del método.

Con vistas a los trabajos futuros es necesario realizar una apreciación sobre la evaluación realizada: la consistencia del método se ha comprobado en cuanto a su estructura pero no en lo referente a su comportamiento. Es decir, se ha demostrado la adecuada formulación del método y la existencia de una relación entre sus artefactos, pero no que la ejecución del método en su formulación actual asegure la consistencia entre los productos obtenidos y los objetivos planteados. Para ello, sería necesario incorporar nuevas tareas y mecanismos que permitieran validar el resultado del análisis del sistema (o, en su defecto, la configuración del sistema) contra el modelo del dominio instructivo al cual pertenece. De esta manera, se aseguraría que el método es consistente no sólo en su formulación sino también en los resultados que produce: permitiría obtener una especificación de las necesidades y condiciones del sistemas acorde a los requisitos planteados. Por último, y a fin de garantizar la consistencia del proceso, sería deseable disponer de una herramienta de diseño que permitiera garantizar la realización de las distintas actividades del método y la elaboración de los diagramas correspondientes. Esta idea se desarrollará de manera más exhaustiva en el siguiente apartado, en el análisis de resultados sobre el carácter sistemático del método ComBLA.

## La eficacia del método

La eficacia refleja la capacidad de lograr el efecto que se espera o desea. En el caso del método ComBLA, la eficacia se ha relacionado con la capacidad de mejorar el análisis de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador. Esta mejora de la labor de análisis se fundamenta en dos líneas de actuación: (1) La formulación de un método sistemático. La definición de una secuencia ordenada de tareas permite alcanzar unos objetivos determinados independientemente de las condiciones de ejecución del análisis; y (2) La definición de un método orientado a reutilización. El método prescribe distintos artilugios a fin de fomentar la reutilización de recursos instructivos. La conjunción de ambas líneas de actuación permite acometer el proceso de desarrollo dentro de un marco de trabajo específico. Como en el caso de la calidad, se ha recurrido a métodos de evaluación analítica (análisis estático) y descriptiva (opinión de expertos) para valorar la eficacia de la solución. Los siguientes apartados describen el resultado obtenido tras la evaluación de la eficacia.

### Sistemático

Un método sistemático es aquel que se ajusta a un sistema; es decir, que se basa en un conjunto de reglas preestablecidas. La revisión realizada sobre los principios de la ingeniería del software reveló que la plena sistematización del análisis pasa por la definición de un método formal. Sin embargo, tal y como se justificó en el capítulo de solución, el propósito de la solución era disponer de un método riguroso pero no formal. Un método riguroso proporciona un nivel de formalismo suficiente como para asegurar la obtención de un conjunto de actividades bien organizado y estructurado, que limite el arbitrio de los participantes en el análisis pero sin eliminar su libre albedrío. La obtención de un método sistemático con estas características se corresponde con la consecución del objetivo específico 1.4. El objetivo implicado se enunció en los siguientes términos:

*Disponer de un conjunto de actividades de análisis bien organizado y estructurado. La obtención de un método sistemático requiere de la definición minuciosa y de acuerdo a un patrón conocido de cada una de las actividades de análisis.*

La evaluación analítica de la solución nos confirmó el carácter riguroso del método ComBLA. El método se ha definido de acuerdo a un patrón conocido, la especificación se realiza mediante artefactos ajustados a una sintaxis, y el proceso presenta una correspondencia entre los objetivos planteados y las actividades acometidas. En el lado negativo, el método establece actividades (principalmente, aquellas referidas al análisis del dominio, como la delimitación del alcance del dominio, la recopilación de información o la validación del modelo de dominio) que dependen en gran medida del buen hacer de los analistas; sin embargo, incluso en este caso, las actividades se han documentado minuciosamente y existen pautas de actuación adecuadas.

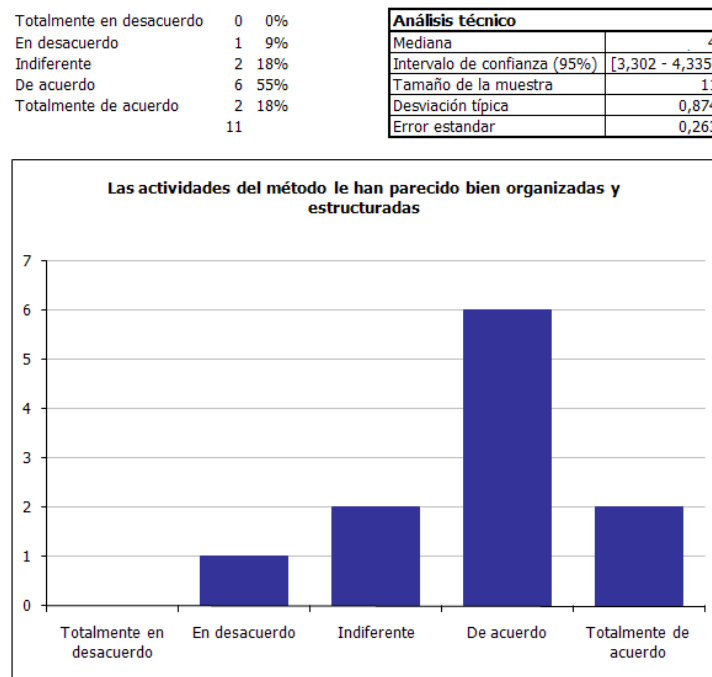


Figura 5.8: Resultado de la pregunta cerrada P04

La evaluación de la eficacia del método ComBLA se complementó con la evaluación subjetiva de sus cualidades. Para ello, se cuestionó a una serie de expertos sobre el carácter sistemático o no de su definición. Las preguntas formuladas se centraron en dos aspectos: (1) Saber la opinión de los evaluadores sobre la estructura de las actividades del método; y (2) Obtener la opinión de los expertos sobre las plantillas de definición de los artefactos del método.

Por lo que respecta al primer aspecto, se preguntó a los evaluadores si consideraban las actividades del método como bien organizadas y estructuradas. Como se muestra en la figura 5.8, el porcentaje de expertos que estuvieron *de acuerdo o totalmente de acuerdo* se aproxima al 75 % del total. Además, otros dos evaluadores se definieron como indiferentes pero sin mostrar una actitud negativa hacia la estructura de las actividades del método. Todo ello dio lugar a una mediana igual a cuatro, correspondiéndose este valor con la aceptación explícita de la cuestión planteada. En el lado negativo, se obtuvo una opinión en desacuerdo con la organización y estructura del método; sin embargo, la revisión de los comentarios aportados por el evaluador no permitieron identificar los posibles errores o carencia en la formulación. En concreto, el evaluador justificó su puntuación por el carácter abstracto del método y la dificultad para «*hacerse una idea de en qué situaciones podría aplicarse*». Este hecho recomienda la inclusión de ejemplos y casos prácticos como parte de la documentación del método pero no aporta información que permita mejorar o rectificar su formulación. En todo caso, y como trabajo futuro, se pretende desarrollar casos de ejemplo que ilustren cada una de las actividades del método. En lo referido a la plantilla de definición de las actividades y productos del método ComBLA, se pretendía saber si los evaluadores consideraban estas como minuciosas, motivo por el cual se les requirió su opinión sobre la completitud de las mismas. Tal y como se muestra en las figuras 5.9 y 5.10, una vez más la mediana de las respuestas se sitúa en el cuatro, aunque en este caso el número de evaluadores que mostraron su aquiescencia fue mayor que en el caso de la estructura y organización de las actividades. No obstante, y tomando el peor de los casos, el intervalo de confianza se sitúa en el rango comprendido entre el asentimiento y la aceptación de la cuestión formulada. Por desgracia, los comentarios ofrecidos por los evaluadores no permiten concluir cuales son las carencias identificadas en las plantillas o si éstas se refieren a alguna etapa o actividad concreta del método. En todo caso, y tal y como se expuso en la evaluación analítica de la solución, el análisis de un dominio cualesquiera presenta siempre un punto de incertidumbre que no puede eliminarse completamente mediante la formulación de un proceso riguroso. Sin embargo, las actividades propuestas han tenido un grado de aceptación suficientemente alto como para considerar que puede aplicarse de manera sistemática y preceptiva.

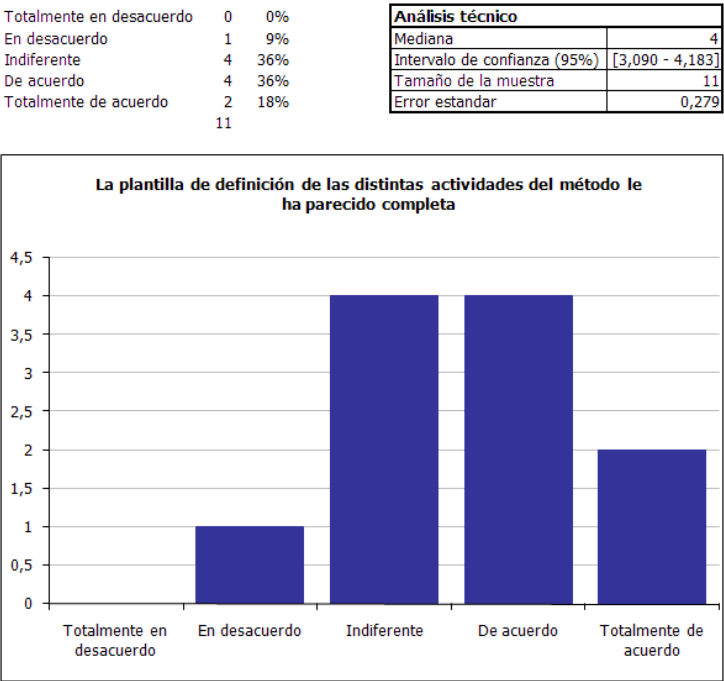


Figura 5.9: Resultado de la pregunta cerrada P05

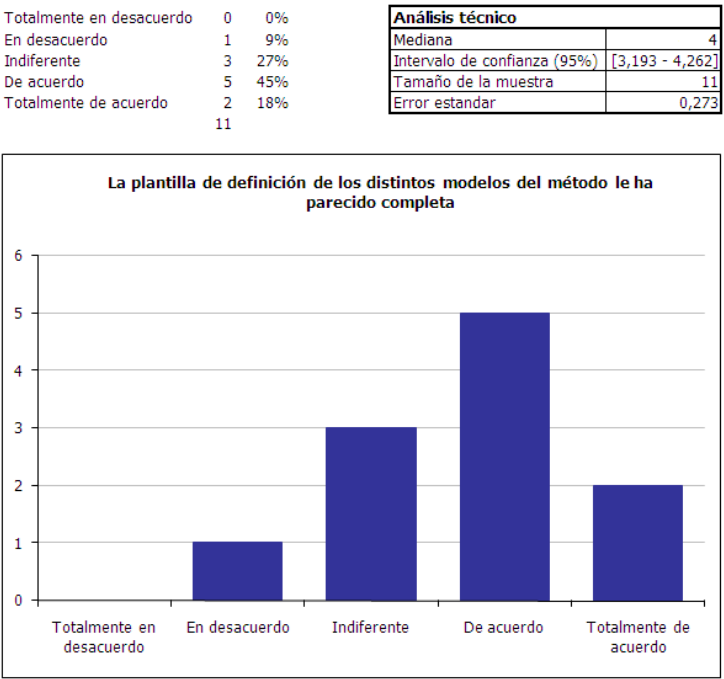


Figura 5.10: Resultado de la pregunta cerrada P06



Por último, y aunque no formaba parte de los objetivos del trabajo, se interrogó a los evaluadores sobre la posibilidad de utilizar el método, en su formulación actual, sin formación previa. La intención de esta cuestión era saber si la formulación realizada se podía considerar suficientemente detallada, minuciosa y completa como para permitir la aplicación del método por individuos sin experiencia. Los resultados obtenidos mostraron que no sólo no se satisfacía esta hipótesis, sino que un porcentaje relevante de expertos consideraron la necesidad de incorporar ejemplos como parte de la definición del método. La figura 5.11 muestra los resultados obtenidos como respuesta a la cuestión *La descripción de las actividades del método le ha parecido suficiente para aplicarlas sin formación previa*. La mediana de las respuestas se sitúa en el valor tres, lo cual puede considerarse como un resultado aceptable dado que implica la aceptación tácita por parte de los evaluadores; sin embargo, el estudio del intervalo de confianza nos muestra una probabilidad de la respuesta más próxima al desacuerdo que al asentimiento. Como consecuencia del resultado obtenido, además de la elaboración de ejemplos y casos de prueba, se planteará el desarrollo de cursos de formación y manuales de usuario que faciliten la aplicación del método.

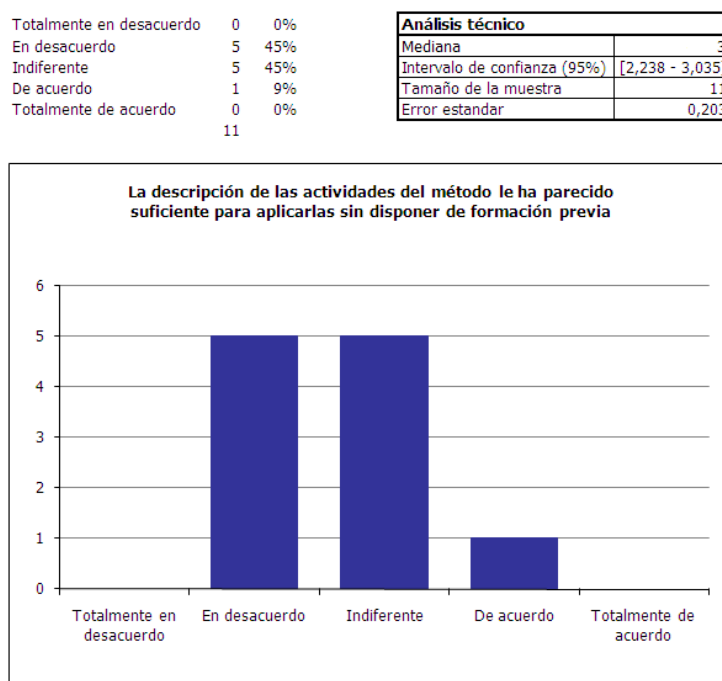


Figura 5.11: Resultado de la pregunta cerrada P07

### Orientado a reutilización

El último objetivo específico referido a la labor de análisis tiene que ver con la definición de un método prescriptivo respecto de la reutilización:

*Proporcionar un método de análisis que cumpla los preceptos del diseño orientado a reutilización. El método debe disponer de mecanismos que faciliten la identificación y representación de aspectos comunes a los sistemas de un determinado dominio de aplicación como medio para facilitar la reutilización de componentes.*

El método, en su definición actual, no puede garantizar la reutilización, puesto que esta labor está supeditada a la correcta ejecución de otras etapas del proceso de desarrollo como, por ejemplo, el diseño del sistema. En el caso del método ComBLA, el propósito se reduce a proporcionar una serie de pautas y mecanismos que promuevan la reutilización de recursos instructivos. De la misma manera, la valoración de la capacidad del método para alcanzar la reutilización de componentes requiere de una fase de experimental ardua y extensa en el tiempo: el método debería utilizarse en escenarios dispares, ejecutándolo con distintos participantes en cada uno de los escenarios, y corroborando que en todas las situaciones se alcanza la reutilización de los mismos o muy parecidos componentes. Dada la complejidad de esta tarea, más relacionada con la evaluación de la eficiencia que de la eficacia, su consecución ha quedado fuera del alcance del trabajo, limitándonos a valorar el cumplimiento por parte del método de los principios propios del diseño por reutilización.

El análisis estático de la estructura del método ComBLA muestra el cumplimiento por parte del mismo de todos los preceptos del diseño por reutilización. El análisis se realiza sobre un dominio instructivo independiente, el análisis se realiza de manera progresiva y descendente, y el método incorpora mecanismos para expresar tanto la especificidad como la variabilidad. En particular, el método se basa en el modelado de características, siendo ésta una técnica especialmente recomendable para fomentar la reutilización de componentes [35]. El único punto negativo del método se encuentra en la ausencia de medios que aseguren la correspondencia entre las características identificadas y el posterior diseño del sistema. La superación de esta limitación pasa por la definición de un método de desarrollo generativo.

Como en el caso del carácter sistemático del método, se planteó a los expertos una cuestión que no estaba relacionada de manera directa con los objetivos del trabajo de investigación, pero que permitiría deducir futuras aportaciones o mejoras en la solución propuesta. En este caso se preguntó a los evaluadores si consideraban que *la definición de un modelo de dominio promueve la reutilización de recursos instructivos*. Aunque la cuestión tiene relación con el objetivo específico 2.5 no se refiere propiamente al mismo. El objetivo planteado era disponer de un método que «promoviera» la reutilización, no de un método que «garantizara» la reutilización. Los resultados obtenidos, tal y como se muestran en la figura 5.12, no resultaron a primera vista concluyentes. Se obtuvo una mediana de valor tres, con un intervalo de confianza que anticipa valoraciones situadas alrededor del valor intermedio. Aunque en el diseño del cuestionario al valor intermedio se le concedió una consideración positiva, la elección mayoritaria de esta opción impide establecer, con garantías, la aceptación de este supuesto por parte de los evaluadores. Más bien parece una respuesta neutra motivada, en parte, con la ausencia de una respuesta rotunda o justificada. Sin embargo, un estudio más detallado del resto de respuestas, aquellas no clasificadas como *indiferente*, nos mostró dos factores a considerar:

- Los evaluadores *de acuerdo* o *totalmente de acuerdo* se correspondieron con expertos en ingeniería del software y con responsabilidad como docentes o analistas de sistemas.
- Los evaluadores *en desacuerdo* se correspondieron en todos los casos con expertos en tecnologías educativas y plantearon objeciones referidas a la ausencia de datos empíricos o documentación detallada que permitiera afirmar esta cuestión.

La conclusión que puede extraerse de los resultados obtenidos es la necesidad de aplicar el método de manera más exhaustiva y prolongada a fin de mostrar su capacidad o no para garantizar la reutilización de recursos instructivos. Sin embargo, el hecho de que expertos en el desarrollo de sistemas expongan una opinión positiva lleva a pensar que la solución propuesta reúne los requisitos para promover la reutilización. La aplicación del método, el desarrollo de sistemas basándose en el análisis realizado, y la evaluación de los resultados obtenidos, permitirá concluir si el método ComBLA mejora la reutilización de recursos instructivos o si el análisis de dominios es una solución eficiente en el contexto de la enseñanza asistida por ordenador.

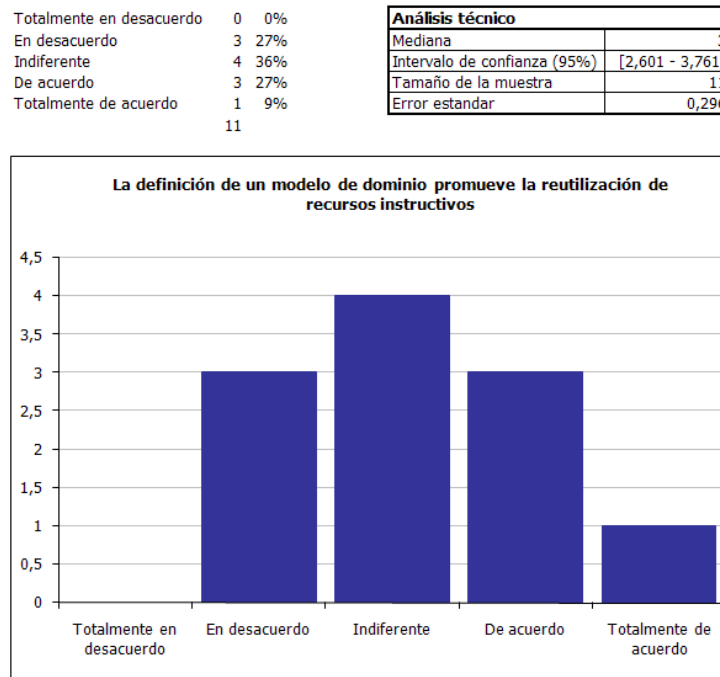


Figura 5.12: Resultado de la pregunta cerrada P19

#### 5.4.2. La aplicación del análisis de dominios

El contexto de la enseñanza asistida por ordenador presenta algunas características que lo hacen especialmente recomendable para la aplicación de la ingeniería de dominios: se trata de un dominio estable, con fuentes de información confiables y cuya actividad se ajusta a normas conocidas. En este supuesto, la definición de un modelo de dominio que guíe la labor de análisis parece una solución adecuada para mejorar el desarrollo de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador. La dificultad del caso reside en el carácter multidimensional del problema y en la existencia de factores cognitivos que impiden la aplicación de propuestas genéricas de análisis de dominios. La solución al problema se orientó a la definición de un método específico que permitiera aplicar los principios del análisis de dominios al contexto de la enseñanza asistida por ordenador. A fin de establecer la validez de la solución, la evaluación perseguía un doble objetivo: por un lado, demostrar la utilidad del método ComBLA para analizar un dominio instructivo; por otro, comprobar la eficacia del método al analizar un sistema de aprendizaje asistido por ordenador tomando como referencia el modelo de dominio definido.

## La utilidad del método

La utilidad expresa la cualidad de un artefacto de producir provecho o beneficio en alguna línea. La definición de la utilidad depende de la naturaleza del artefacto o el propósito para el cual se concibió. En el caso del método ComBLA, la utilidad está relacionada con la capacidad de analizar un dominio instructivo como medio para mejorar el análisis de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador. Con este propósito en mente, el método debe demostrar su valía para revisar, sintetizar y representar el conocimiento de un dominio instructivo. La evaluación de la utilidad del método ComBLA se asentó en dos técnicas de evaluación distintas pero complementarias. En primer lugar, se realizó una prueba de concepto como forma de demostrar la capacidad del método para analizar tanto dominio instructivo como un sistema de aprendizaje asistido por ordenador; posteriormente, una vez concluida la prueba de concepto, se sometió al método al juicio de expertos en el contexto de realización del trabajo. Estos expertos debieron valorar tanto los resultados obtenidos en la prueba de concepto como la propia formulación y estructura del método.

## El dominio instructivo

La primera condición indispensable para aplicar el análisis de dominios es la existencia de un dominio estable. La verificación de esta condición obliga al cumplimiento de dos requisitos: (1) La delimitación precisa del dominio de aplicación; y (2) La existencia de fuentes de conocimiento confiables. A fin de satisfacer ambos requerimientos, se formularon los dos primeros objetivos específicos referido a la aplicación del análisis de dominios. El primero de los objetivos establecía la necesidad de definir el concepto de dominio instructivo:

*Definir el concepto de «dominio instructivo». La definición del concepto de «dominio instructivo» permitirá establecer las bases para identificar y delimitar un dominio instructivo cualesquiera.*

La definición de «dominio instructivo» debía exponer con claridad el sentido del concepto, y ofrecer referencias sobre la forma de delimitar un dominio de aplicación. Dado el carácter subjetivo de estas consideraciones, la evaluación del objetivo se basó en la opinión de expertos. A los mismos, se les sometió a distintas cuestiones

sobre los aspectos mencionados. En primer lugar, se preguntó a los evaluadores si *la definición de dominio instructivo aportada permitía identificar un dominio cualesquiera*. Una definición correcta no sólo permite identificar y delimitar un dominio instructivo sino que debe poder emplearse en todos aquellos dominios existentes en el contexto de la enseñanza asistida por ordenador. Tal y como se muestra en la figura 5.13, los evaluadores optaron mayoritariamente por la opción *de acuerdo*, a esta opción hubo que añadir dos evaluadores que se mostraron *totalmente de acuerdo* y otro dos que mostraron su aquiescencia con la cuestión planteada, el resultado final dio lugar a una mediana de cuatro y la confianza de que los expertos situarían su respuesta dentro del rango da valores positivos o de aceptación. En cuanto al evaluador que mostró su *desacuerdo* con la validez de la definición realizada no aportó comentarios adicionales que permitieran refinar o mejorar la misma. En segundo lugar, se deseaba saber si la hipótesis de partida sobre la cual se sustentó la definición propuesta era válida: en el contexto educativo los contenidos a impartir, como representación del tipo de problema a resolver, no son suficientes para delimitar un dominio instructivo. Los resultados obtenidos, mostrados en la figura 5.14, muestran de manera bastante concluyente que los expertos consultados están de acuerdo con esta apreciación. Más aún, varios evaluadores realizaron comentarios sobre la necesidad de incluir la «*aproximación didáctica*» como criterio para establecer un dominio instructivo. De igual manera, algún evaluador requirió una justificación más detallada del porqué de la inclusión de los contenidos en la definición del dominio instructivo. Como ya se indicó en el capítulo de solución, los contenidos a impartir condicionan el diseño de la instrucción [79, 146]. Así, por ejemplo, contenidos sobre la programación de computadores recomienda la utilización de estrategias instructivas basadas en la resolución de problemas y el trabajo en grupo; sin embargo, el estudio de ciencias jurídicas o políticas recomienda el uso de estrategias basadas en la discusión sobre casos de estudio o el desempeño de roles, estrategias que a su vez condicionan el tipo de servicios instructivo a utilizar. La inclusión de los contenidos en la definición da lugar a dominios más restrictivo pero en los cuales se obtiene un modelo de dominio más preciso.

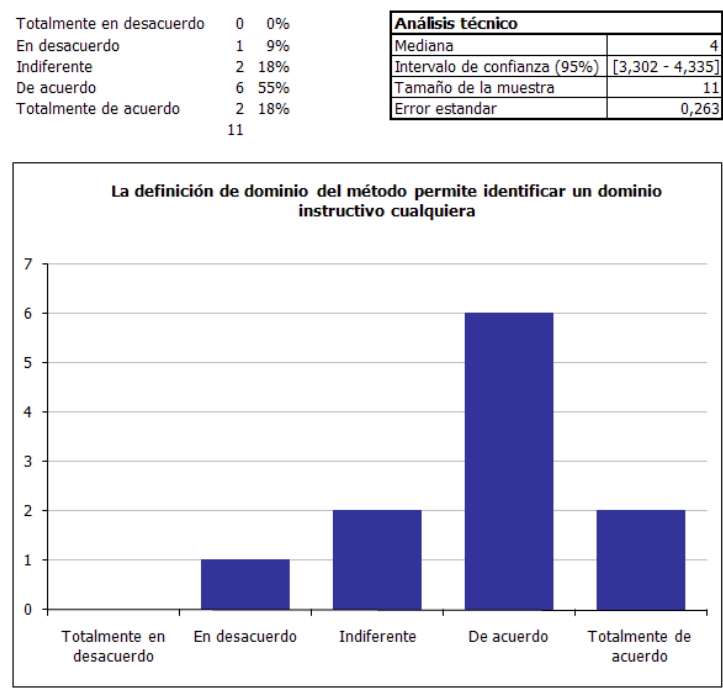


Figura 5.13: Resultado de la pregunta cerrada P08

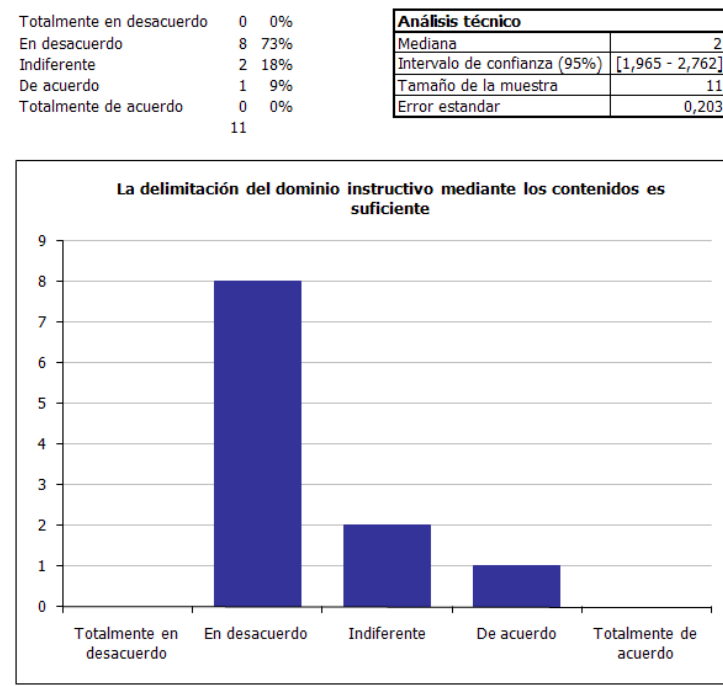


Figura 5.14: Resultado de la pregunta cerrada P09

El segundo de los objetivos específicos referidos a la aplicación del análisis de dominios pretendía mostrar la existencia de fuentes de información confiables de las cuales deducir el conocimiento intrínseco al dominio instructivo.

*Establecer las fuentes de información propias del contexto de la instrucción. Se identificarán un conjunto de fuentes de información confiables y suficientes para deducir el conocimiento del dominio.*

La evaluación descriptiva del objetivo se realizó mediante la formulación de dos cuestiones concretas a los expertos: (1) La utilidad de las fuentes de información identificadas para estudiar un dominio instructivo; y (2) La validez de las fuentes para proporcionar información confiable. La primera de las cuestiones pretendía saber si las fuentes de información identificadas podían considerarse como suficientes. El resultado obtenido en la evaluación, tal y como se muestra en la figura 5.15, permite corroborar esta hipótesis. La mediana obtenida es la más alta de todas las cuestiones planteadas a los evaluadores: un valor de cinco, el más alto posible. Además, entre los evaluadores que dijeron estar *totalmente de acuerdo* con la suficiencia de las fuentes de información, se encontraban los tres tipos de expertos cuestionados: expertos en tecnologías educativas, en educación asistida por ordenador y en ingeniería del software. Este hecho resulta muy importante porque demuestra que los distintos perfiles implicados en el desarrollo de sistemas de aprendizaje asistidos por ordenador comprobaron la existencia de fuentes de información que comprenden su ámbito de conocimiento. En cuanto a la fiabilidad de las fuentes de información, los resultados fueron ligeramente peores a los obtenidos en la primera cuestión; sin embargo, tanto la mediana obtenida como el intervalo de confianza alcanzado permite concluir que los evaluadores estaban de acuerdo con la validez de las fuentes de información identificadas. Por lo que respecta a las opiniones negativas, los evaluadores no se opusieron tanto a la validez de las fuentes de información como a la corrección en la formulación de la pregunta. Así, se indicó que en un contexto como el educativo, dadas sus características, no era recomendable hablar de fuentes de información *fidedignas* sino de fuentes de información lo más *fidedignas posibles*. Dado que el objetivo enunciado hablaba de fuentes *confiables*, la rebaja en el nivel de certidumbre de la información proporcionada no implica la invalidez de las fuentes de información propuestas. Por todo ello, el objetivo específico puede considerarse como satisfecho.



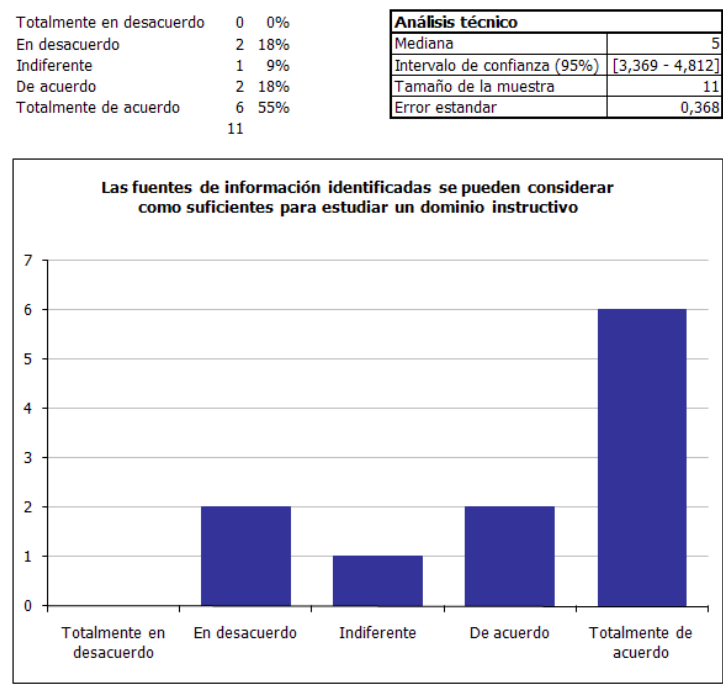


Figura 5.15: Resultado de la pregunta cerrada P10

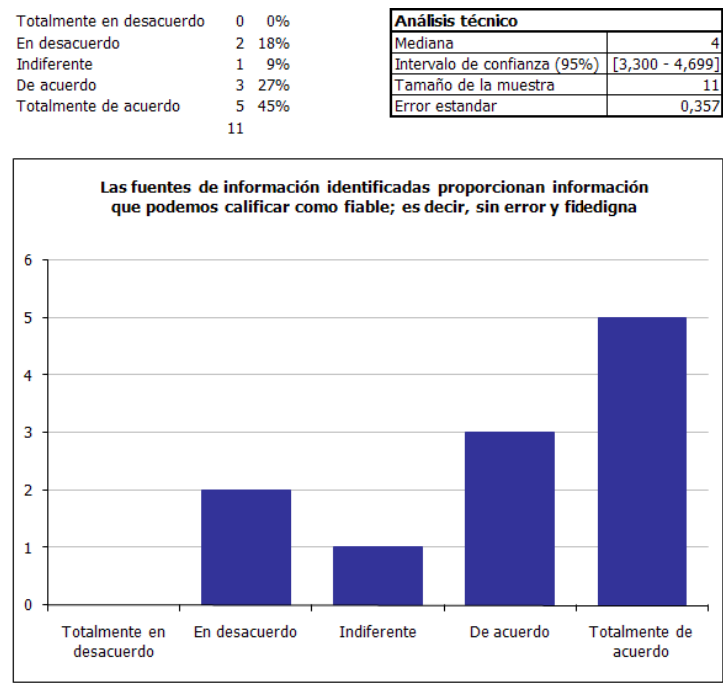


Figura 5.16: Resultado de la pregunta cerrada P11

### El modelado de características

El modelo de dominio hace referencia al conjunto de artefactos que permiten especificar el conocimiento de un dominio de aplicación. La obtención del modelo de un dominio instructivo se relaciona con el objetivo 2.3 del trabajo de investigación. El objetivo se enunció de la siguiente manera:

*Emplear el modelado de características como herramienta de representación del conocimiento de un dominio instructivo. La aplicación del modelado de características requerirá de una definición de característica adecuada al contexto de la instrucción.*

La aplicación del modelado de características requiere, en primer lugar, de una definición de característica que permita identificar el conjunto de factores presentes en un dominio instructivo. La figura 5.17 muestra el resultado obtenido al cuestionar a los expertos sobre este aspecto: ninguno de los evaluadores se mostró en desacuerdo con la definición aportada, el 91 % de los expertos dio de manera explícita su aprobación, y únicamente uno de los evaluadores dio una respuesta neutra o indiferente. Estos resultados se complementan con los recopilados en la pregunta siete del bloque de modelo de análisis: la completitud de las facetas propuestas. La aceptación por parte de los evaluadores de las facetas definidas, ver el análisis de resultados sobre la completitud realizada en este mismo capítulo, nos permite concluir no sólo que la definición de característica realizada es adecuada sino también que el modelado de característica es una herramienta adecuada para representar el conocimiento intrínseco a un dominio instructivo. Esta conclusión se vio apuntalada por los comentarios realizados por los evaluadores expertos en la pregunta abierta del cuestionario sobre el modelo de análisis:

*El concepto de característica me ha parecido muy adecuado para la definición de un dominio (instructivo).*

*El concepto de característica me ha parecido muy interesante (para su aplicación en el contexto considerado).*

*De igual manera, el uso de un modelo de características parece una idea interesante para integrar (el) conocimiento (del dominio instructivo).*

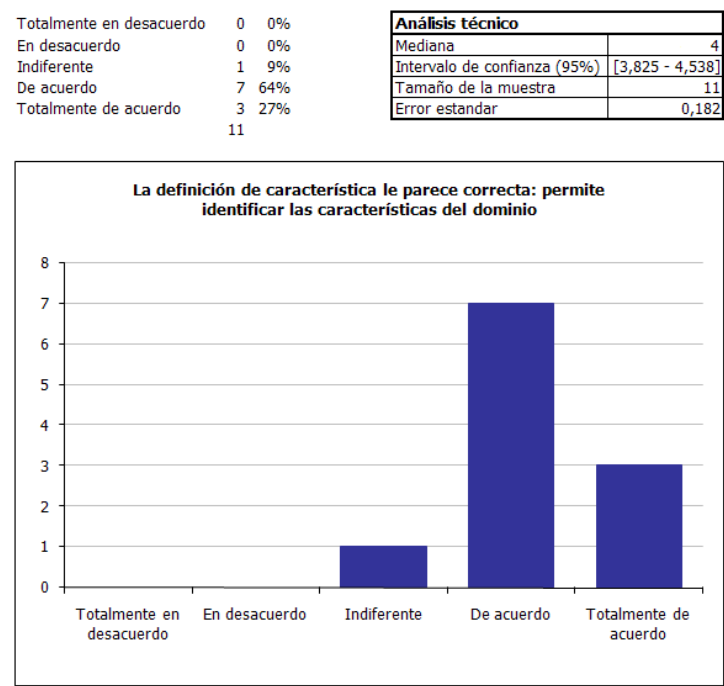


Figura 5.17: Resultado de la pregunta cerrada P12

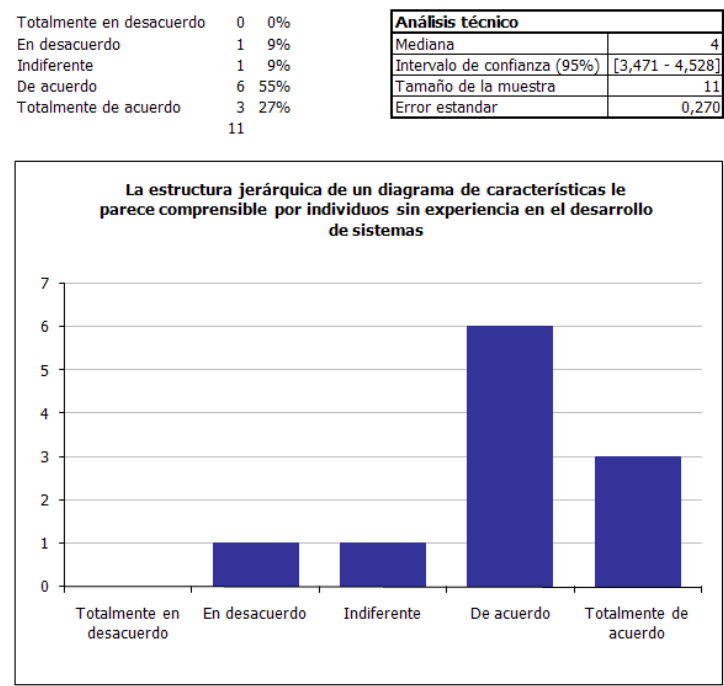


Figura 5.18: Resultado de la pregunta cerrada P13

Por otro lado, durante la revisión de distintas alternativas de modelado se planteó una serie de cuestiones que recomendaron el uso de diagramas de características frente a otras opciones como, por ejemplo, la definición de una ontología. Aparte de la capacidad de los diagramas de características para expresar variabilidad (aspecto tratado ampliamente en la evaluación analítica del concepto de reutilización), se identificó su carácter intuitivo y su capacidad para ser interpretado por personas sin amplios conocimientos en el desarrollo de sistemas software. Aunque no se recogía expresamente en los objetivos del trabajo, y con el propósito de comprobar la validez de este supuesto, se incluyó en el cuestionario de evaluación la siguiente pregunta: *La estructura jerárquica de un diagrama de características le parece comprensible por individuos sin experiencia en el desarrollo de sistemas.* Tal y como se muestra en la figura 5.18, una amplia mayoría de los evaluadores se mostraron *de acuerdo* o *totalmente de acuerdo* con esta idea. Las respuestas aportadas dieron lugar a una mediana de valor cuatro y a un intervalo de confianza que, con el 95 % de seguridad, sitúa la respuesta entre el tres y medio y el cuatro y medio, intervalo establecido como de aceptación. La evaluación positiva sobre el carácter intuitivo del diagrama de características tiene una especial significación en el contexto de la enseñanza asistida por ordenador. Como se expuso en el planteamiento del problema, en el proceso de desarrollo de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador intervienen distintos perfiles e interesados, algunos de ellos sin conocimientos o experiencia en el desarrollo de sistemas software pero con responsabilidad directa en el diseño instructivo del sistema. La estructura jerárquica del diagrama de características y su capacidad para ser comprendido por individuos sin experiencia en el desarrollo de sistemas presenta una doble ventaja: (1) Permitirá la validación del contenido por parte de los diseñadores instructivos y expertos en tecnologías educativas; y (2) Podrá ser interpretado y utilizado por docentes que desean desarrollar un sistema de aprendizaje sin contar con el apoyo de expertos en el desarrollo de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador.

La unión de los resultados obtenidos en las preguntas cerradas más los comentarios adicionales realizados por los evaluadores nos ha llevado a considerar como confirmada la hipótesis de partida, por la cual se empleó el modelado de características como herramienta de representación del conocimiento de un dominio instructivo. En conclusión, el objetivo 2.3 del trabajo de investigación se puede considerar como satisfecho.

### El análisis del dominio

La especificación del dominio instructivo requiere de un proceso que prescriba las acciones necesarias para elaborar el modelo del dominio. La definición del proceso de análisis del dominio se corresponde con el objetivo 2.4 del trabajo de investigación. La formulación del objetivo se realizó en los siguientes términos:

*Definir el proceso de análisis del dominio. En particular, será imprescindible establecer un conjunto de tareas bien definido que permite delimitar un dominio instructivo de acuerdo a la definición aportada.*

La validación del objetivo se ha basado en la realización de una prueba de concepto y en la recopilación de la opinión de expertos sobre los aspectos más significativos del proceso definido. La prueba de concepto pretendía demostrar la capacidad del método para analizar un dominio instructivo. De acuerdo con las actividades definidas en la fase de preparación de la evaluación, la ejecución de la prueba de concepto ha permitido probar los siguientes hechos:

- Las tareas establecidas en la actividad de delimitación del dominio permiten identificar y establecer el alcance de un dominio instructivo. De las pautas propuestas, la utilización de un catálogo bibliográfico ha resultado de especial utilidad.
- La secuencia de tareas propuestas por el método ha resultado adecuada para identificar y recopilar los distintos aspectos de interés. Especialmente útil ha resultado el proceso progresivo de estudio y la clasificación en facetas propuesta por el método.
- El conocimiento del dominio instructivo ha podido ser representado en su totalidad utilizando la notación propuesta por el método. En particular, el diagrama de características se ha demostrado como una herramienta muy flexible e intuitiva para la representación de aspectos de interés.
- La tarea de comprobación del modelo ha resultado suficiente para validar el conocimiento representado y refinar progresivamente el modelo de dominio obtenido. No obstante, se han comprobado algunas de las deficiencias de esta labor y la necesidad de establecer algún tipo de herramienta (cuestionarios, formularios, etc.) que sistematice la actividad.

La conclusión extraída de la realización de la prueba de concepto es la validez del método ComBLA para el análisis de un dominio instructivo. A fin de corroborar esta afirmación, se solicitó a los expertos su opinión sobre una de las actividades esenciales del proceso de análisis del dominio: la identificación y delimitación del dominio instructivo.

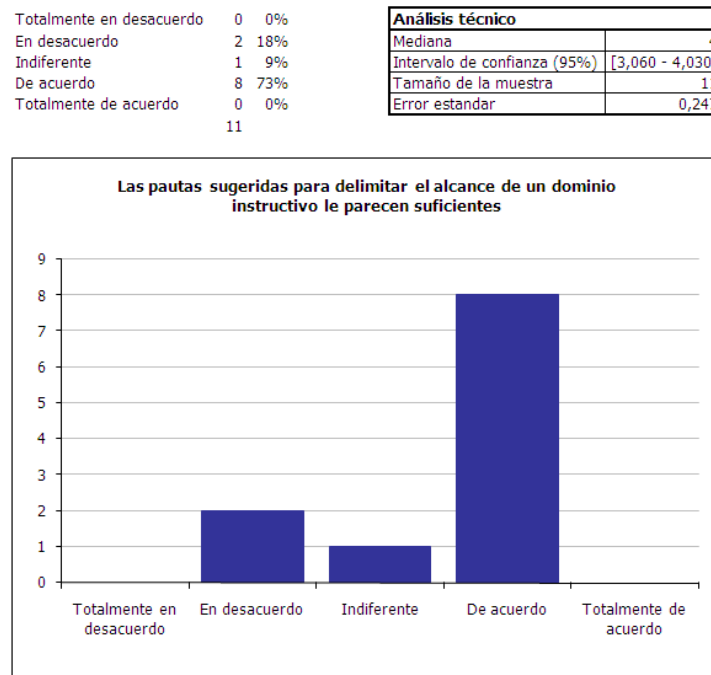


Figura 5.19: Resultado de la pregunta cerrada P15

La definición del alcance del dominio es la actividad inicial del proceso de análisis y el condicionante más importante en la obtención de un modelo de dominio válido. La figura 5.19 recopila la opinión de los evaluadores expertos sobre esta cuestión. La mayoría de los expertos se mostraron *de acuerdo* con el conjunto de tareas definidas para delimitar el dominio instructivo y únicamente dos de los evaluadores mostraron su desacuerdo con las tareas propuestas. De estos dos evaluadores, uno de ellos indicó que se concedía demasiada relevancia a la identificación de los contenidos como medio para delimitar el dominio. La justificación a este hecho ya se ha expuesto tanto en el capítulo de solución como el análisis de resultados sobre la definición de dominio instructivo, motivo por el cual no se incidirá en la misma, limitándonos a mencionar que los contenidos son un factor objetivo muy adecuado

para guiar la delimitación del dominio pero que no se establece como la referencia única o esencial al establecer el alcance. Más bien, actúa como un filtro de partida a partir del cual refinar el alcance de acuerdo al proceso instructivo y la forma de instrucción establecida. No obstante, los resultados obtenidos, con un 73 % de respuestas afirmativas y la existencia de evaluadores con distinto perfil de conocimiento dentro de ese porcentaje, nos lleva a considerar las tareas definidas como suficientes para delimitar un dominio instructivo.

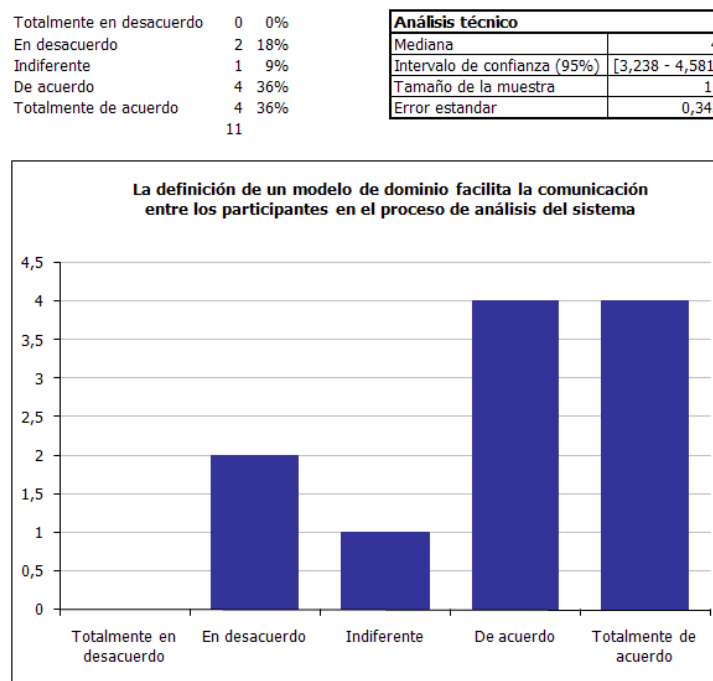


Figura 5.20: Resultado de la pregunta cerrada P20

Además de la comprobación de la validez del proceso de dominio se cuestionó a los expertos sobre una serie de aspectos relacionados con la utilidad del análisis del dominio. Las cuestiones pretendían identificar que aspectos de los identificados en el planteamiento del problema podían ser mejorados o solventados mediante la elaboración de un modelo de dominio. Las cuestiones planteadas y los resultados obtenidos se muestran en las figuras 5.20 y 5.21. Mayoritariamente, como puede apreciarse a simple vista, los evaluadores se decantaron por la capacidad del modelo de análisis para mejorar la comunicación entre los participantes en el proceso de análisis. La gran mayoría de los expertos se mostraron *de acuerdo* o *totalmente de*

*acuerdo* con esta idea, dando lugar a un intervalo de confianza que en la mayor parte de su extensión se situaba en valores de aceptación del supuesto. Incluso entre las opiniones negativas, se recibió un comentario adicional muy interesante que valoraremos a continuación:

*El modelo de dominio no facilita perse la comunicación entre los participantes en el proceso. Esta comunicación se facilitará siempre que exista un consenso entre los participantes sobre los elementos definidos en el modelo.*

A pesar de que el evaluador autor de este comentario se mostró *en desacuerdo* con la cuestión planteada, el comentario realizado parece exponer su contrariedad más con la formulación de la pregunta que con el sentido de la misma. Obviamente, el modelo de dominio por sí mismo no mejora la comunicación (interpretación que podía extraerse del enunciado de la cuestión) sino la adecuada definición de un modelo de dominio o, más exactamente, la definición del modelo de dominio propuesta. A partir de esta opinión, puede concluirse que el modelo de dominio es una herramienta que facilita la comunicación siempre que su elaboración y contenido sea correcta. Basándonos en los resultados obtenidos en la evaluación de la consistencia y completitud del método, y en la propia opinión afirmativa de la mayoría de evaluadores, podemos concluir que el método ComBLA y el modelo de dominio obtenido gracias al mismo permitirá mejorar la comunicación entre los participantes en el proceso de análisis. En cuanto a la capacidad del modelo de análisis para reducir la relevancia de la experiencia en el diseño de la instrucción, los resultados no fueron tan positivos y mostraron, en general, la indiferencia de los evaluadores. Un elevado porcentaje de evaluadores se mostraron *en desacuerdo*, a lo cual hay que añadir otros tantos expertos que se mostraron su neutralidad o aquiescencia con la cuestión planteada. A pesar de los resultados negativos obtenidos, existen un par de factores cuyo análisis puede permitir ponderar adecuadamente los juicios realizados: el perfil de los evaluadores y la justificación de la valoración realizada. Por lo que respecta al perfil de los evaluadores, es muy interesante comprobar como aquellos expertos que se mostraron de acuerdo con la reducción de la relevancia de la experiencia en el proceso de diseño que conlleva el uso de un modelo de domino se correspondían con expertos en ingeniería del software; por el contrario, los evaluadores que mostraron



una opinión más negativa se clasificaron como expertos en tecnologías educativas. Además, estos evaluadores, aportaron comentarios adicionales del tipo:

*El modelo de dominio no reduce la relevancia de la experiencia en el diseño de la instrucción, no se aportan datos que lo demuestre. Lo que si es importante es que el modelo de dominio puede facilitar la comprensión y disminuir la complejidad del proceso de análisis para el diseño de la instrucción pero es necesario aportar datos experimentales que lo avalen.*

*El uso de un modelo de dominio parece una idea interesante para integrar conocimiento; sin embargo, con la información aportada, no tengo clara su utilidad para realizar el diseño sin disponer de experiencia previa.*

La conclusión extraída es que aquellos expertos con experiencia en el desarrollo de sistemas consideran que el conocimiento integrado y estructurado de un modelo de dominio ayuda a reducir la relevancia de la experiencia; sin embargo, este hecho deberá demostrarse en el futuro mediante la aplicación intensiva del método.

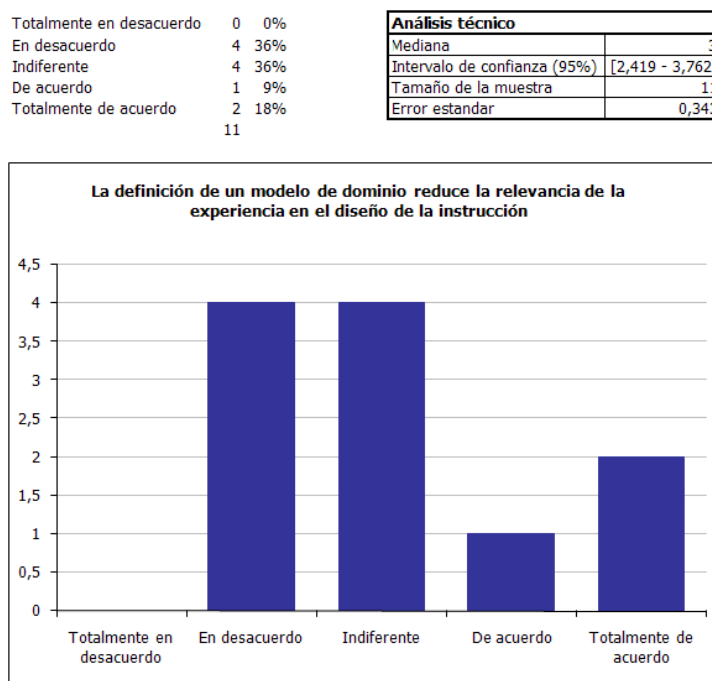


Figura 5.21: Resultado de la pregunta cerrada P21

### La eficacia del método

La definición del método ComBLA persigue no sólo la definición del modelo de un dominio instructivo, sino también la aplicación del modelo generado como medio para facilitar la labor de análisis. El cumplimiento de este objetivo se relaciona con la eficacia del método y su capacidad para delimitar un sistema de aprendizaje asistido por ordenador sin la participación directa de expertos en los distintos campos de interés. El estudio y especificación de las necesidades del sistema se corresponde con las actividades de «alcance del sistema» y «configuración del sistema». Estas actividades se relacionan con el objetivo 2.5 del trabajo de investigación:

*Definir el proceso de análisis de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador. El proceso de análisis permitirá establecer los objetivos del sistema y definir su configuración básica tomando como referencia el modelo del dominio instructivo.*

Como en el caso del proceso de análisis del dominio, la validación del objetivo 2.5 se ha basado en la realización de una prueba de concepto y en la recopilación de la opinión de expertos sobre los resultados obtenidos. La prueba de concepto pretendía demostrar la capacidad del método para analizar un sistema de aprendizaje asistido por ordenador tomando como referencia el modelo del dominio instructivo en el cual se empleará el sistema. De acuerdo con las actividades definidas en la fase de preparación de la evaluación, la ejecución de la prueba de concepto ha permitido probar los siguientes hechos:

- El método permite establecer con bastante precisión el alcance del sistema a desarrollar. El documento de definición del sistema puede resultar ambiguo en ciertas ocasiones pero es suficientemente minucioso como para establecer el conjunto de necesidades y condiciones del sistema.
- La secuencia de tareas definida por el método permite definir, a partir de los objetivos identificados y del modelo del dominio instructivo, el conjunto mínimo de características del sistema a desarrollar.
- La configuración del sistema recoge un conjunto de propiedades lo suficientemente completo como para servir de referencia en la posterior definición del sistema a desarrollar.

La conclusión extraída de realización de la prueba de concepto es la validez del método ComBLA para el análisis de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador tomando como referencia el modelo del dominio instructivo al cual pertenece. A fin de corroborar esta afirmación, y de establecer si los resultados obtenidos en la prueba de concepto se basan en la adecuación del método definido, se sometió al juicio de diferentes expertos la definición de dos actividades esenciales del proceso de análisis del sistema: (1) La identificación de los objetivos educativos; y (2) La definición de la configuración básica del sistema.

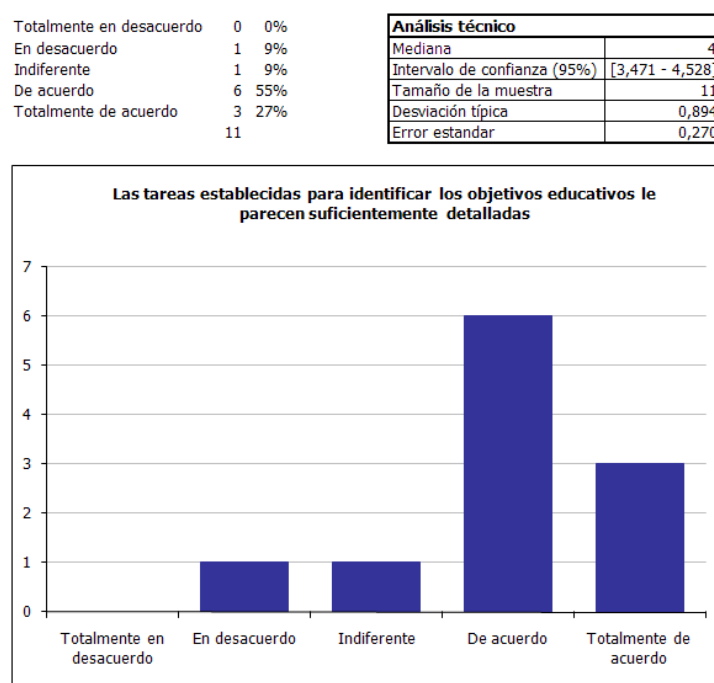


Figura 5.22: Resultado de la pregunta cerrada P16

La identificación de los objetivos educativos es una actividad esencial del proceso de desarrollo de un sistema de aprendizaje. Un sistema de aprendizaje se elabora para alcanzar unos objetivos educativos concretos siendo, en consecuencia, el principal requisito a satisfacer por el sistema. Esta condición es común a todo sistemas de aprendizaje, sea o no asistido por un recurso software, por lo qué el método únicamente se puede considerar válido para el análisis de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador si acomete esta tarea de manera adecuada. El resultado de la opinión de los expertos consultados se muestra en la figura 5.22. Los resultados

obtenidos muestra que una amplia mayoría de los evaluadores consideran que las tareas propuestas son adecuadas para establecer los objetivos educativos. La obtención de este resultado no debe extrañar dado que, tal y como se expuso en el capítulo de solución, la definición de esta actividad toma como referencia distintos métodos y modelos de desarrollo de la instrucción, realizando únicamente un compendio y actualización de los mismos al contexto de la enseñanza asistida por ordenador. En cuanto a la definición de la configuración del sistema, el objetivo era saber si el método permite establecer las características básicas del sistema tomando como referencia el modelo del dominio instructivo. La validación de esta actividad resultaba esencial para dar por alcanzado el objetivo de eficacia establecido en el diseño de la evaluación. Los resultados obtenidos, tal y como se muestran en la figura 5.23 permiten considerar el objetivo como satisfecho. Una amplia mayoría de los evaluadores consideran las tareas definidas como minuciosas; además, entre los evaluadores que optaron por la opción intermedia, se indica que más que minuciosa hablarían de adecuada o completa. Por todo ello, se puede considerar como demostrada la eficacia del sistema y, en consecuencia, el objetivo 2.5 del trabajo de investigación.

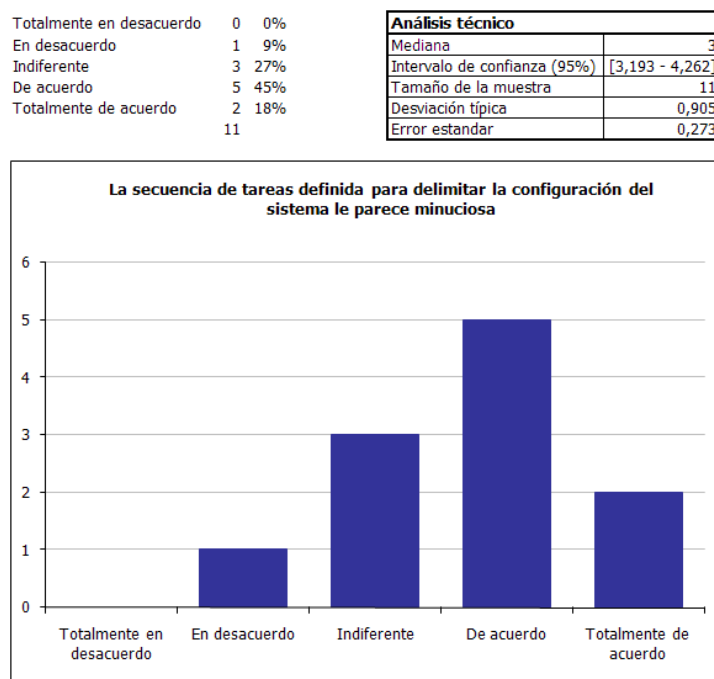


Figura 5.23: Resultado de la pregunta cerrada P17

# Capítulo 6

## Epílogo

*”«Es preciso concluir», decía la voz interior. «¿Concluir? No hallo el fin, y el fin ha de ser bueno... ¡Dios mío, ampárame! Resumiré... recapitularé... pero ya no me acuerdo de lo que he dicho... ¿Pediré perdón al auditorio?... No: eso es rebajarme...» Al fin le ocurrió la oración final, y la empezó; pero al llegar al final, otra oración se enlazó con ella, y con ésta otra, y otra, y otra. Su discurso era una oscilación sin término; pero el público se impacientaba. Ni un minuto más: se apoderó del último período, resuelto a que fuera el último. Pronunció al fin el postrer sustantivo; y después, alzando la voz, emitió con graduación los tres adjetivos que le acompañaban para darle fuerza, y calló.”*

**La Fontana de Oro**

Benito Pérez Galdos

La descripción de un trabajo de investigación finaliza con una recapitulación de los hitos alcanzados durante la realización del mismo. La recapitulación se inicia con el resumen del trabajo, exponiendo el contexto de realización del mismo, el problema a resolver, las hipótesis de partida y los objetivos propuestos. A partir de este resumen, se elaboran una serie de conclusiones sobre el trabajo acometido, centrándose en la valoración de la solución y la exposición de los resultados obtenidos en su evaluación. Finalmente, se presenta las aportaciones realizadas y se proponen una serie de líneas de actuación y trabajos futuros basados en dichas aportaciones.

## 6.1. Epítome del trabajo

Se entiende por epítome el *"resumen o compendio de una obra extensa, que ofrece lo fundamental o más preciso de la materia tratada en ella"* [126]. El resumen de un trabajo de investigación debe centrarse en tres aspectos fundamentales: el contexto de realización del trabajo, el problema que se pretende resolver y la solución propuesta al mismo. Los siguientes apartados exponen estos aspectos en relación con el trabajo realizado en la presente tesis doctoral.

### Contexto

La presente tesis doctoral se encuadra en el ámbito de la enseñanza asistida por ordenador y, más concretamente, en el desarrollo de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador. La enseñanza asistida por ordenador tiene por objeto la utilización de recursos informáticos durante el proceso de aprendizaje como medio para mejorar la enseñanza. La aplicación de sistemas informáticos con fines educativos requiere de tecnologías específicas que conjuguen el conocimiento tanto del diseño de la instrucción como de la ingeniería del software.

El desarrollo de la enseñanza asistida por ordenador conlleva la aplicación de una metodología de desarrollo a la producción de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador. Habitualmente, la producción de este tipo de sistemas, por analogía con el desarrollo de software y el desarrollo de la instrucción, se divide en cinco fases o etapas: análisis, diseño, implementación, evaluación y puesta en funcionamiento. El análisis es la actividad inicial del proceso de desarrollo, siendo la etapa encargada de estudiar el problema con vistas a proporcionar una especificación de las necesidades y condiciones del sistema a desarrollar.

### Problema

El problema a resolver se relaciona con la relevancia de la fase de análisis en el proceso de desarrollo de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador. Una fase de análisis adecuada contribuye a mejorar el proceso de desarrollo e incrementar la calidad del producto elaborado. Sin embargo, a pesar de su significación, las propuestas existentes presentan carencias que lastran la eficacia de la etapa de análisis.

El análisis de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador presenta su principal dificultad en la naturaleza de la realidad a tratar. Por un lado, no se trata de un mero sistema de aprendizaje; por otro, y a pesar de tratarse de un tipo de producto software, no se trata de un sistema informático al uso. Por el contrario, presenta un solapamiento entre ambas realidades que requiere formas de trabajo específicas. En lo referente al objeto del análisis, el análisis no puede limitarse a comprender el problema instructivo que motiva el desarrollo del sistema. Es necesario conocer los objetivos educativos a satisfacer, el tipo de alumno al cual va dirigido el sistema o los contenidos que se desean transmitir, pero también es necesario definir la forma en la cual el sistema software asistirá el proceso de aprendizaje. En cuanto a la ejecución del análisis, no puede seguirse el esquema habitual en el desarrollo de software: un analista encargado de especificar la información suministrada por un interesado. En este caso es necesario recopilar información de distintas fuentes como medio para definir, primero, el modelo de negocio y, después, el modelo de aplicación del sistema. La aplicación de técnicas de análisis inadecuadas impedirá la amalgama de ambas perspectivas, llevando a propuestas de análisis ineficaces.

## Solución

La solución a esta problemática se ha encontrado en el carácter estable del contexto de la enseñanza asistida por ordenador. La existencia de dominios instructivos bien delimitados y la identificación de fuentes de información confiables permiten elaborar un modelo de dominio que represente el conocimiento común a a un dominio instructivo. A partir de esta idea, se ha definido un método de análisis para el análisis de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador basado en la aplicación del análisis de dominios al campo de la enseñanza asistido por ordenador. El método, conocido como método ComBLA, proporciona los mecanismos adecuados para la identificación y delimitación de un dominio instructivo, así como para el posterior estudio, representación y aplicación del conocimiento común al dominio. De igual manera, y a fin de garantizar la calidad de la solución elaborada, el método de análisis se definió como un método correcto, completo, consistente y sistemático. Todas ellas, características que contribuyen a la adecuada formulación y utilización del método.

## 6.2. Conclusiones

Una toma de contacto sobre el contexto de realización del trabajo reveló la ausencia de propuestas plenamente satisfactorias para el desarrollo de la enseñanza asistida por ordenador. La posterior revisión y evaluación de las propuestas existentes constató esta impresión inicial, estableciendo una serie de carencias que lastran la etapa de análisis del proceso de desarrollo de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador. A fin de solventar estas limitaciones, se propuso definir un método de análisis basado en la aplicación del análisis de dominios al campo de la enseñanza asistida por ordenador. Una vez definido y evaluado dicho método, llega el momento de establecer conclusiones sobre el trabajo desarrollado.

### Conclusiones de la solución

El presente apartado establece una serie de asertos y proposiciones que describen y valoran la solución aportada. La realización del trabajo tomó como punto de partida el examen pormenorizado de la labor de análisis. El estudio epistemológico del análisis, la revisión del análisis en distintos campos de aplicación, el diagnóstico de distintos paradigmas de análisis permitió disponer de una idea precisa del concepto del análisis, su significado y sentido. La labor de estudio acometida ha tenido repercusión en la fase de determinación del problema, proporcionando un marco de evaluación que permitió valorar las propuestas existentes, durante la fase de definición del problema, fijando los principios sobre los cuales asentar la solución, y en el epílogo del trabajo, estableciendo posibles líneas de mejora. La conclusión extraída es que esta forma de actuación, basada en interrogarse sobre las premisas mismas del trabajo, es un proceder recomendable para la formulación de conocimiento.

El segundo aspecto de reflexión tiene que ver con la filosofía de trabajo seguida al definir la solución: la integración de los principios de la ingeniería del software y el diseño de la instrucción en el desarrollo de la enseñanza asistida por ordenador. Alan Hevner [86] establece la confluencia de dos filosofías de actuación en la producción de un sistema de información: las ciencias del diseño y las ciencias del comportamiento. Las ciencias del comportamiento son las encargadas de desarrollar y justificar las teorías que explican o predicen un fenómeno relacionado con las necesidades del negocio. Las ciencias del diseño son responsables de construir y evaluar



artefactos que satisfagan las necesidades del negocio. Por tanto, de acuerdo con estas definiciones, las ciencias del diseño son responsables de producir artefactos tomando como referencia el conocimiento formulado por las ciencias del comportamiento. En el caso del contexto educativo, las ciencias del comportamiento se corresponden con la pedagogía y las ciencias educativas; por el contrario, el diseño de la instrucción, puesto que define el proceso que permite trasladar las teorías instructivas en planes específicos de formación, se debe catalogar como una ciencia del diseño. Es esta clasificación la que justifica la integración del diseño de la instrucción y la ingeniería del software en el campo de la enseñanza asistida por ordenador. Puesto que los artefactos generados por las ciencias del diseño deben resultar útiles en el dominio de aplicación, es necesario integrar el proceso de diseño de la instrucción y el proceso de desarrollo de software para obtener sistemas software para la instrucción útiles; es decir, capaces de implementar un proceso instructivo utilizando medios tecnológicos confiables y con un coste de producción razonable. En caso contrario, se corre el riesgo de disponer de un sistema correcto pero inviable por su dificultad de uso, su complejo soporte o su elevado coste. El presente trabajo es una demostración de la bondad de esta integración. La aplicación de la ingeniería del software ha contribuido al carácter riguroso, modular y genérico de la solución desarrollada:

- El método de análisis se ha definido con rigurosidad y de acuerdo a patrones conocidos, lo que permite disponer de: (1) Un proceso de análisis consistente; y (2) Un modelo de análisis estructurado. La consecuencia de este esfuerzo es la posibilidad de sistematizar la labor de análisis. La sistematización del análisis permitiría transformar el estudio del problema en una serie de actividades mecánicas o indeliberadas.
- La solución propuesta se estableció desde el origen como un «método de análisis orientada a la reutilización»; es decir, se pretendía disponer de un mecanismo que anticipará a la etapa de análisis la búsqueda e identificación de elementos reutilizables. Este hecho no asegura por sí mismo la mejora de la reutilización, pero sí fija las pautas para disponer de un método de diseño por reutilización. La valoración de las cualidades intrínsecas corroboran la capacidad de la solución para mejorar la reutilización de componentes.

Finalmente, se recogerán ciertas conclusiones sobre la intención del trabajo de aplicar el análisis de dominios al campo de la enseñanza asistida por ordenador. La ejecución del trabajo ha revelado la existencia de un contexto estable, con fuentes de información confiables y fijas. Así mismo, ha sido posible establecer criterios objetivos para delimitar un dominio de aplicación, al igual que mecanismos para clasificar y agrupar el conocimiento intrínseco al dominio considerado. La consecución de este objetivo abre la vía a la utilización de la ingeniería de dominios como medio para la definición de un método generativo de desarrollo de la enseñanza asistida por ordenador.

## Conclusiones de la evaluación

La evaluación de un artefacto software debe centrarse en medir su calidad, utilidad y eficacia. El significado de estas cualidades depende del artefacto elaborado y de su contexto de aplicación. En el caso de la solución propuesta, la calidad se mide por el cumplimiento de una serie de propiedades inherentes a un método de análisis: corrección, completitud y consistencia. En lo referido a la utilidad, un artefacto se considera útil si puede servir o aprovecharse en alguna línea. La utilidad de la solución tiene que ver con su capacidad para analizar un dominio instructivo. Finalmente, la eficacia implica tener la capacidad de alcanzar un propósito; en el caso del trabajo realizado, la capacidad del método de especificar las necesidades y condiciones de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador tomando como referencia el modelo del dominio instructivo al cual pertenece.

La valoración de la calidad, utilidad y eficacia de la solución se ha realizado utilizando distintos métodos de evaluación. En primer lugar, la evaluación analítica del método de ComBLA ha permitido establecer el cumplimiento de las cualidades intrínsecas del método valorando, por tanto, su calidad. La realización de una prueba de concepto ha servido para evaluar experimentalmente la solución. Finalmente, la evaluación experta se centró en conocer la opinión de los expertos sobre la formulación del método, la validez de las definiciones aportadas y la utilidad de la solución para aplicar el análisis de dominios al campo de la enseñanza asistida por ordenador. La ejecución de la evaluación ha comprobado la corrección del trabajo de investigación. Los distintos mecanismos de evaluación utilizados permitieron demostrar el cumplimiento por parte de la solución de los objetivos definidos:

- Objetivos relativos a la labor de análisis. La evaluación analítica y por expertos del método ComBLA ha demostrado su corrección, completitud, consistencia, así como su carácter sistemático y orientado a reutilización. En particular, los expertos consultados valoraron muy positivamente la formulación del método: su rigurosidad, minuciosidad, coherencia entre actividades y correspondencia entre actividades y productos. De igual manera, los evaluadores se mostraron de acuerdo con la completitud del método, característica refrendada por la evaluación analítica de la solución. Finalmente, el estudio de los principios del análisis y del diseño orientado a la reutilización demostró la corrección del método y su carácter orientado a reutilización.
- Objetivos relativos al análisis de dominios. Los evaluadores expertos consultados se mostraron a favor de la definición de dominio instructivo aportada, de las fuentes de información identificadas, así como de la utilidad del modelado de características para representar el conocimiento del dominio instructivo. Así mismo, la realización de una prueba de concepto mostró la capacidad del método ComBLA para analizar tanto un dominio instructivo como un sistema de aprendizaje asistido por ordenador. La eficacia del método fue corroborada por la opinión de los expertos sobre las actividades principales del proceso de análisis.

Todas estas acciones han mostrado no sólo el cumplimiento de los objetivos, sino también su capacidad para introducir mejoras en el desarrollo de la enseñanza asistida por ordenador. Mejoras centradas en una mejor comunicación de los participantes en el proceso de desarrollo y a la posibilidad de disponer de una configuración básica del sistema sobre la que asentar el proceso de desarrollo. Por otro parte, en el lado negativo, la evaluación experta no ha permitido confirmar algunas de las impresiones establecidas al inicio del trabajo; en particular, aquellas referidas a una mejora de la reutilización y una menor relevancia de la experiencia en el proceso de desarrollo. En ambos casos, los evaluadores consideraron que la aplicación del análisis de dominios establece las bases para alcanzar estos propósitos, pero es necesario una aplicación más exhaustiva del método ComBLA para aceptar con rotundidad dichos asertos.

### 6.3. Aportaciones

El presente trabajo de investigación pretendía realizar una contribución significativa en el campo de la enseñanza asistida por ordenador. Mediante la aplicación de técnicas propias de la ingeniería del software, y basándose en enseñanzas extraídas del desarrollo de la instrucción, se propuso definir un artefacto software específico para el análisis de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador. La consecución de este propósito ha implicado la realización de una serie de aportaciones. Las aportaciones de la tesis doctoral se clasificarán en aportaciones principales, aquellas establecidas al inicio del trabajo como aportaciones esperadas, y otras aportaciones, surgidas durante la realización del trabajo y que permiten apuntalar la solución definida.

#### Aportaciones principales

La definición del método de análisis válido se fundamenta en la formulación de un modelo y un proceso de análisis que permitan la adecuada especificación del problema a resolver. De acuerdo con esta premisa, las aportaciones principales del trabajo de investigación se corresponden con:

- **A.1.** Un modelo de análisis. Se ha definido una serie de diagramas y plantillas que permiten modelar el problema. El modelo de análisis abarca tanto un modelo de dominio, pensado para representar el conocimiento de un dominio instructivo, como modelo de sistema, concebido para especificar las necesidades y condiciones de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador.
- **A.2.** Un proceso de análisis. Se ha definido un conjunto de actividades que permite sistematizar el estudio tanto de las causas del problema como de sus principios y condiciones. El proceso de análisis contempla dos etapas: en primer lugar, se analizará el conocimiento del dominio instructivo de interés para, a continuación, utilizar dicho conocimiento como base para el estudio de un sistema específico del dominio.

La definición y contenidos de estos artefactos software se ha ajustado a los objetivos específicos establecidos para el trabajo de investigación.

## Otras aportaciones

La definición del método de análisis ha implicado la realización de una serie de labores que pueden considerarse como aportaciones secundarias o indirectas del trabajo de investigación. Entre las mismas, la más importante tiene que ver con la formulación de una serie de conceptos que apuntalan la solución propuesta:

- **A.3.** Definición de análisis. Se fijó con precisión y claridad el significado de análisis de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador. Se utilizó la definición del concepto para establecer una serie de principios sobre los cuales se asienta la formulación del método ComBLA.
- **A.4.** Definición de dominio instructivo. Se define el concepto de dominio instructivo. La definición establece una serie de criterios objetivos que permiten identificar y delimitar un dominio instructivo.

La definición de un método de análisis basado en los principios del ingeniería de dominios se ha traducido en una serie de aportaciones sobre el análisis de dominios:

- **A.5.** Sintaxis del diagrama de características. Se ha ampliado la sintaxis habitual del diagrama de características introduciendo el concepto de «peso de la característica». La inclusión del peso proporciona un criterio adicional para la selección de características del sistema.
- **A.6.** Configuración del sistema. Los métodos de análisis del dominio se centran en definir el proceso que permite elaborar un modelo de dominio; sin embargo, son anecdóticas las propuestas que indican como emplear el modelo de dominio durante el análisis de la aplicación. La solución elaborada introduce el concepto de «configuración del sistema» y formula tareas específicas para utilizar dicha configuración durante el análisis de la aplicación.

Finalmente, y ya centrado en la aplicación del análisis de dominios en el contexto del trabajo, se formuló el concepto de «faceta», estableciendo el tipo de facetas existentes en el dominio de la enseñanza asistida por ordenador. La tabla 6.1 muestra de manera resumida como este conjunto de aportaciones ha permitido satisfacer los objetivos específicos establecidos al inicio del trabajo.

Objetivos relativos a la labor de análisis	Aportaciones					
	A.1.	A.2.	A.3.	A.4.	A.5.	A.6.
1.1 Disponer de un método correcto	✓	✓	✓	-	-	-
1.2 Disponer de un método completo	✓	-	✓	-	-	✓
1.3 Disponer de un método consistente	-	✓	-	-	-	-
1.4 Definir un método sistemático	-	✓	-	-	-	✓
1.5 Definir un método orientado a reuso	✓	✓	-	-	-	-

Objetivos relativos a la labor de análisis	Aportaciones					
	A.1.	A.2.	A.3.	A.4.	A.5.	A.6.
2.1 Definir dominio instructivo	-	-	-	✓	-	-
2.2 Establecer fuentes de información	-	-	-	✓	-	-
2.3 Emplear modelado de características	✓	-	-	-	✓	✓
2.4 Definir proceso de análisis del dominio	-	✓	-	-	-	-
2.5 Definir proceso de análisis del sistema	-	✓	-	-	-	✓

Tabla 6.1: Relación entre objetivos del trabajo y aportaciones

## 6.4. Trabajos futuros

La realización de la presente tesis doctoral no sólo ha permitido la consecución de unos objetivos específicos, sino que abre las puertas a futuras labores de investigación. Los trabajos futuros se pueden clasificar en dos bloques: trabajos pensados para refinar la solución propuesta y trabajos concebidos para realizar nuevas aportaciones en el campo de la enseñanza asistida por ordenador. En lo referido a la mejora de la solución, los trabajos a realizar pueden orientarse en las siguientes direcciones:

- La inclusión de actividades que permitan refinar el modelo de dominio. El modelo de dominio expresa el conocimiento intrínseco de un dominio instructivo, incluyendo en el mismo el conocimiento aportado por los sistemas existentes. De acuerdo con esta idea, cada nuevo sistema desarrollado influye en el conocimiento del dominio, alterando el modelo de dominio definido. El objetivo perseguido sería variar el peso de las características en función de las cualidades de los nuevos sistemas analizados. Por cada nueva elección, se calcularían los nuevos pesos y se variaría el contenido del diagrama de características.

- El desarrollo de una herramientas de análisis. Basándose en el carácter riguroso de la definición del método, y en la existencia de una elevada consistencia entre los distintos componentes de la solución, se propone programar una herramienta gráfica que permita automatizar algunas de las tareas del análisis. Por ejemplo, la elaboración de diagramas o la elección de características. El desarrollo de la herramienta se vería favorecido por la existencia de un modelo de información, ver anexo B, de los artefactos del modelo de dominio.
- La comprobación del modelo de dominio. En esta primera versión del método ComBLA, la comprobación del modelo de dominio se basa en una secuencia de tareas genérica. A fin de aumentar la sistematización de esta actividad, y con el objetivo de garantizar la correcta validación del modelo de dominio, sería recomendable disponer de cuestionarios o formularios de evaluación que permitieran recopilar la opinión de los expertos consultados. La utilización de una herramienta de este tipo aseguraría la comprobación por parte de los expertos de todos aquellos factores que condicionan la validez del modelo del dominio instructivo.
- La validación del modelo de sistema. En esta versión del método, la comprobación de la definición del sistema se limita a validar la estructura de los artefactos elaborados. La comprobación adecuada de la especificación pasaría por la validación del modelo de sistema contra el modelo de dominio. En esta situación, no sólo se hablaría de un método consistente respecto a su formulación sino también en cuanto a su comportamiento, siendo capaz de garantizar la correspondencia entre los objetivos planteados y los objetivos obtenidos tras el proceso de análisis.
- La inclusión de técnicas de diseño complementarias al modelado del dominio. La evaluación del método ComBLA ha mostrado que el proceso de análisis del dominio es adecuado para integrar conocimiento estructurado; sin embargo, presenta limitaciones al capturar y representar conceptos subjetivos. En este caso, es complicado basar el estudio del problema en la recopilación de conocimiento de fuentes de información independientes, siendo necesario otras técnicas de diseño que permitan la recopilación, integración y puesta en común de este tipo de conocimiento.

- Por último, y a fin de facilitar el intercambio del modelo de dominio, el modelo de información definido podría reemplazarse por una especificación de meta-datos como RDF [77]. RDF (*Resource Description Framework*) proporciona un formato dirigido a alcanzar compatibilidad entre diversos sistemas de meta-datos, suministrando para ello una arquitectura genérica de meta-información. La utilización de un lenguaje de este tipo permitiría disponer no sólo de un mecanismo riguroso para la representación de la información, sino también adecuado para la puesta en común de la información representada en el modelo de dominio.

El objetivo de estas mejoras es incrementar el carácter sistemático y evolutivo del método, simplificando el proceso de análisis y reduciendo el tiempo de ejecución. Respecto a la realización de nuevos trabajos relacionados con la solución pero independientes de la misma, se puede mencionar la posibilidad de crear un método generativo para el desarrollo de la enseñanza asistida por ordenador. Un método de estas características permitiría la automatización de todo el proceso de desarrollo, permitiendo la producción de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador mediante la transformación de sucesivos modelos o abstracciones del sistema. Por otro lado, y a fin de optimizar el proceso de desarrollo, sería recomendable disponer de un método de análisis no sólo útil y eficaz, sino también eficiente. La consecución de este objetivo pasaría por la inclusión de elementos de gestión de proyecto, tales como mecanismos de trazabilidad, seguimiento de tareas, revisión de indicadores o definición de métricas de calidad. Ambas líneas de trabajo estarían encaminadas no sólo a mejorar la solución propuesta, sino también a realizar aportaciones originales en el campo de la enseñanza asistida por ordenador. No obstante, en ambos casos, el método ComBLA podría ser un punto de partida de los trabajos de investigación.



# Apéndice A

## El compendio del trabajo

El compendio del trabajo recoge una exposición breve y sumaria del contenido de la presente tesis doctoral. El propósito del presente anexo es disponer de un esquema que facilite la comprensión del trabajo realizado y el seguimiento del mismo. El compendio del trabajo recoge el resumen del trabajo de investigación, entendiendo como tal la enumeración de los problemas, hipótesis de partida, objetivos del trabajo y aportaciones realizadas. Por último, se recogerán una matriz que relaciona los objetivos del trabajo de investigación con el resto de datos recogidos en el anexo: problemas, hipótesis de trabajo y aportaciones. El anexo servirá como un resumen estructurado que constata la consecución de los objetivos establecidos.

## El trabajo de investigación (I)

### Inventario de problemas

---

- P.1. Las propuestas estudiadas no identifican con claridad los distintos perfiles participantes en el proceso de análisis ni proporcionan mecanismos que faciliten la comunicación entre los mismos
  - P.2. Las propuestas revisadas acometen el estudio de cada sistema de manera independiente y sin considerar las características propias del contexto de aplicación. El resultado es una labor de análisis dependiente, en gran medida, de la experiencia de los participantes y carente de mecanismos que promuevan la reutilización
  - P.3. Las propuestas existentes, influenciadas por los modelos tradicionales de desarrollo de la instrucción, se centran en el estudio del problema instructivo. Los métodos revisados establecen actividades que permiten analizar el contexto instructivo; sin embargo, no estudian detalladamente la forma en la cual el proceso de aprendizaje será asistido por un sistema software
  - P.4. Las propuestas existentes se centran en el estudio del problema dejando de lado la representación del mismo. En particular, las propuestas carecen de un lenguaje adecuado para modelar el problema. O bien se limitan a proponer formularios y plantillas sin establecer una sintaxis precisa, o bien recurren a lenguajes de modelado con una sintaxis rigurosa pero escasamente intuitivos para profanos en la materia
  - P.5. Las propuestas existentes presentan limitaciones desde el punto de vista de la consistencia y rigurosidad de su formulación. La mayoría de las propuestas fueron concebidas más como guías o modelos de desarrollo que como métodos de análisis, lo que influye negativamente en la sistematización del proceso de análisis
- 

### Hipótesis de trabajo

---

- H.1. El contexto de la enseñanza asistida por ordenador se puede considerar como un dominio estable en el cual es posible aplicar los preceptos del análisis de dominios
  - H.2. Es posible establecer un modelo de dominio basado en el modelado de características que permita representar el conocimiento intrínseco a un dominio instructivo
  - H.3. Es posible establecer un proceso de análisis sistemático que permita estudiar, recopilar y representar el conocimiento de un dominio instructivo
  - H.4. Es posible establecer un proceso de análisis que permita especificar las necesidades y condiciones de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador tomado como base el modelo de dominio
-

## El trabajo de investigación (II)

### Objetivos relativos a la labor de análisis

---

- O.1.1. Proporcionar un método de análisis correcto, entendiendo por tal un método que respete los principios propios de la labor de análisis. Un método de análisis correcto deberá disponer tanto de un proceso de análisis que guíe la labor de estudio como de un modelo de análisis que determine la forma de especificar el problema
  - O.1.2. Disponer de un método que permita la especificación completa del problema, evitando omisiones que puedan suponer la incomprensión de algunos de los factores presentes en el mismo. La completitud del método implica la especificación tanto del proceso de negocio como de las características del sistema software que lo soporta
  - O.1.3. Disponer de un método que asegure la consistencia entre sus distintos componentes. La consistencia entre componentes se tratará desde dos puntos de vista: (1) No existe contradicción entre las actividades del proceso; y (2) Existe correspondencia entre el proceso ejecutado y los productos obtenidos
  - O.1.4. Disponer de un conjunto de actividades de análisis bien organizado y estructurado. La obtención de un método sistemático requiere de la definición minuciosa y de acuerdo a un patrón conocido de cada una de las actividades de análisis
  - O.1.5. Proporcionar un método de análisis que cumpla los preceptos del diseño orientado a reutilización. El método debe disponer de mecanismos que faciliten la identificación y representación de aspectos comunes a los sistemas de un determinado dominio de aplicación como medio para facilitar la reutilización de componentes
- 

### Objetivos relativos al análisis de dominios

---

- O.2.1. Definir el concepto de «dominio instructivo». La definición del concepto de «dominio instructivo» permitirá establecer las bases para identificar y delimitar un dominio instructivo cualesquiera
  - O.2.2. Establecer las fuentes de información propias del contexto de la instrucción. Se identificarán un conjunto de fuentes de información confiables y suficientes para deducir el conocimiento del dominio
  - O.2.3. Demostrar la validez del modelado de características como mecanismo para la representación del conocimiento de un dominio instructivo. La aplicación del modelado de características requerirá de una definición de característica adecuada al contexto de la instrucción
  - O.2.4. Definir el proceso de análisis del dominio. En particular, será imprescindible establecer un conjunto de tareas bien definido que permite delimitar un dominio instructivo de acuerdo a la definición previamente aportada
  - O.2.5. Definir el proceso de análisis de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador. El proceso de análisis permitirá establecer los objetivos del sistema y definir su configuración básica tomando como referencia el modelo del dominio instructivo
-

## El trabajo de investigación (III)

### Aportaciones

---

- A.1. Un modelo de análisis. Se ha definido una serie de diagramas y plantillas que permiten modelar el problema. El modelo de análisis abarca tanto un modelo de dominio, pensado para representar el conocimiento de un dominio instructivo, como modelo de sistema, concebido para especificar las necesidades y condiciones de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador
  - A.2. Un proceso de análisis. Se ha definido un conjunto de actividades que permite sistematizar el estudio tanto de las causas del problema como de sus principios y condiciones. El proceso de análisis contempla dos etapas: en primer lugar, se analizará el conocimiento del dominio instructivo de interés para, a continuación, utilizar dicho conocimiento como base para el estudio de un sistema específico del dominio
  - A.3. Definición de análisis. Se fijó con precisión y claridad el significado de análisis de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador. Se utilizó la definición del concepto para establecer una serie de principios sobre los cuales se asienta la formulación del método ComBLA
  - A.4. Definición de dominio instructivo. Se define el concepto de dominio instructivo. La definición establece una serie de criterios objetivos que permiten identificar y delimitar un dominio instructivo
  - A.5. Sintaxis del diagrama de características. Se ha ampliado la sintaxis habitual del diagrama de características introduciendo el concepto de «peso de la característica». La inclusión del peso proporciona un criterio adicional para la selección de características del sistema
  - A.6. Configuración del sistema. Los métodos de análisis del dominio se centran en definir el proceso que permite elaborar un modelo de dominio; sin embargo, son anecdóticas las propuestas que indican como emplear el modelo de dominio durante el análisis de la aplicación. La solución elaborada introduce el concepto de «configuración del sistema» y formula tareas específicas para utilizar dicha configuración durante el análisis de la aplicación.
-

# El trabajo de investigación (IV)

Obj. Trabajo	Problemas					Hipótesis				Aportaciones					
	P.1	P.2	P.3	P.4	P.5	H.1	H.2	H.3	H.4	A.1	A.2	A.3	A.4	A.5	A.6
O.1.1	-	-	-	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	-
O.1.2	-	-	✓	-	-	-	✓	-	-	✓	-	✓	-	-	✓
O.1.3	-	-	-	✓	✓	-	-	✓	✓	-	✓	-	-	-	-
O.1.4	-	-	-	-	✓	-	-	✓	✓	-	✓	-	-	-	✓
O.1.5	✓	-	-	-	-	-	✓	-	-	✓	✓	-	-	-	-

Obj. Trabajo	Problemas					Hipótesis				Aportaciones					
	P.1	P.2	P.3	P.4	P.5	H.1	H.2	H.3	H.4	A.1	A.2	A.3	A.4	A.5	A.6
O.2.1	✓	-	-	-	-	✓	-	-	-	-	-	-	✓	-	-
O.2.2	✓	✓	-	-	-	✓	✓	-	-	-	-	-	✓	-	-
O.2.3	-	✓	✓	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	-	-	-	✓	✓
O.2.4	-	-	✓	-	✓	-	-	✓	-	-	✓	-	-	-	-
O.2.5	-	-	✓	-	✓	-	-	-	✓	-	✓	-	-	-	✓

Tabla A.1: Relación de los objetivos del trabajo con problemas, hipótesis y aportaciones



# Apéndice B

## El modelo de información

El presente anexo recoge el modelo de información de los artefactos que componen el modelo de dominio definido por el método ComBLA. El modelo de información establece la manera en la cual se organiza la información representada por los distintos artefactos a fin de tener un repositorio estructurado de conocimiento. La definición de un modelo de información persigue un doble propósito:

- Facilitar el desarrollo de herramientas de análisis basadas en el método ComBLA. Las herramientas desarrolladas dispondrán de un modelo común para la gestión de los productos generados por el método.
- Sentar las bases para la definición de mecanismos de transformación automática de modelos. El modelo de información proporciona un lenguaje específico que normaliza el conocimiento representado, permitiendo la elaboración de reglas de transformación entre modelos.

A fin de alcanzar estos objetivos, el modelo de información definido se fundamenta en el empleo de documentos XML. Los documentos XML ofrecen una semántica adicional al propio contenido facilitando la gestión y manipulación de la información representada. A continuación, por cada uno de los artefactos software propuestos en la solución, se expondrá la estructura del documento XML que contendrá la información, un ejemplo genérico del documento XML, y el esquema empleado para la validación de los productos generados durante el proceso de análisis del dominio.

## El diccionario del dominio

El *diccionario del dominio* proporciona un catálogo de términos habituales de un dominio instructivo. El diccionario del dominio comprende una relación ordenada y comentada de los vocablos de uso común en el dominio. Por tanto, el diccionario se corresponde con una lista de entradas, cada una de las cuales dispone de un nombre y un tipo que indica si se trata de una abreviatura, un acrónimo o una palabra. Los siguientes apartados describen el modelo de información del diccionario de conceptos.

### Estructura

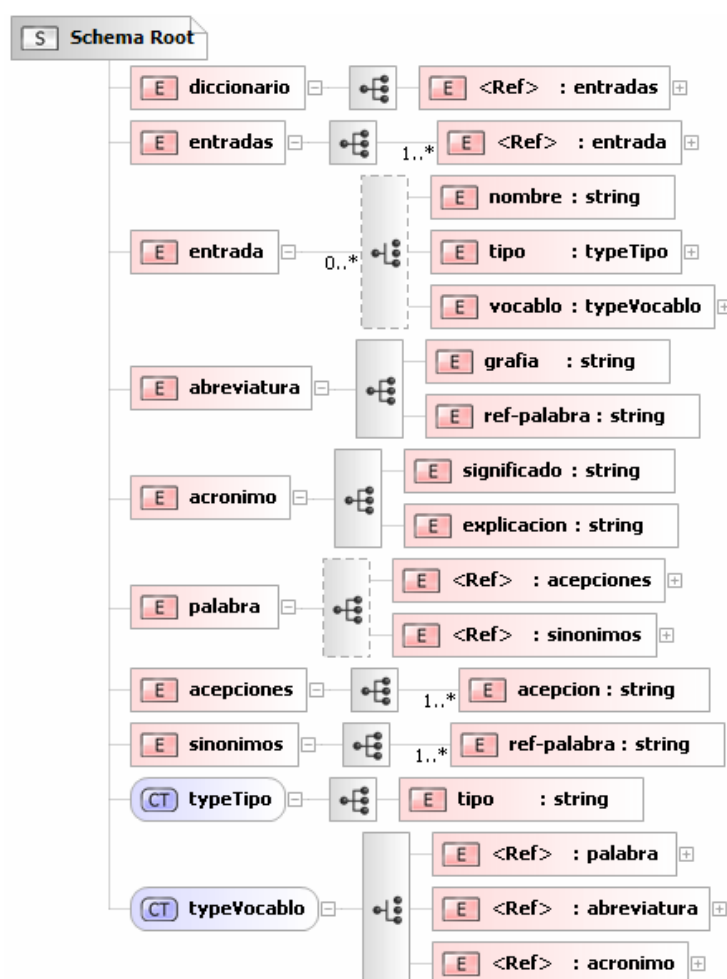


Figura B.1: Estructura del documento XML del diccionario del dominio



**diccionario**

Nombre	Descripción	Tipo	Req.	Mult.
entradas	Lista de entradas del diccionario del dominio	list	obl.	1

**entradas**

Nombre	Descripción	Tipo	Req.	Mult.
entrada	Cada una de las entradas del diccionario	group	obl.	1..n

**entrada**

Nombre	Descripción	Tipo	Req.	Mult.
nombre	Nombre por el cual se referencia la entrada	string	obl.	1
tipo	Tipo de vocablo (abreviatura, acronimo, palabra)	string	obl.	1
vocablo	Definición de un vocablo	choose	obl.	1

**vocablo**

Nombre	Descripción	Tipo	Req.	Mult.
abreviatura	Representación gráfica reducida de una palabra mediante la supresión de algunas de sus letras	group	alt.	0,1
acronimo	Vocablo formado por la unión de elementos de dos o más palabras	group	alt.	0,1
palabra	Segmento del discurso que representa un determinado significado	group	alt.	0,1

**abreviatura**

Nombre	Descripción	Tipo	Req.	Mult.
grafia	Representación de la abreviatura	string	obl.	1
ref-palabra	Palabra representada mediante la abreviatura	string	obl.	1

**acronimo**

Nombre	Descripción	Tipo	Req.	Mult.
significado	Significado del acrónimo	string	obl.	1
explicacion	Explicación del acrónimo	string	opc.	0,1

**palabra**

Nombre	Descripción	Tipo	Req.	Mult.
acepciones	Lista de definiciones de la palabra	list	obl.	1
sinonimos	Lista de sinónimos de la palabra	list	opc.	0,1

**acepciones**

Nombre	Descripción	Tipo	Req.	Mult.
acepcion	Definición de la palabra	string	obl.	1..n

**sinonimos**

Nombre	Descripción	Tipo	Req.	Mult.
ref-palabra	Palabra del dominio	string	obl.	1..n

**Documento**

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<diccionario>
  <entradas>
    <entrada>
      <nombre/>
      <tipo>abreviatura</tipo>
      <vocablo>
        <abreviatura>
          <grafia/>
          <ref-palabra/>
        </abreviatura>
      </vocablo>
    </entrada>
    <entrada>
      <nombre/>
      <tipo>acronimo</tipo>
      <vocablo>
        <acronimo>
          <significado/>
          <explicacion/>
        </acronimo>
      </vocablo>
    </entrada>
    <entrada>

```

```

        <nombre/>
        <tipo>palabra</tipo>
        <vocablo>
            <palabra>
                <acepciones>
                    <acepcion/>
                    <acepcion/>
                </acepciones>
                <sinonimos>
                    <ref-palabra/>
                    <ref-palabra/>
                </sinonimos>
            </palabra>
        </vocablo>
    </entrada>
</entradas>
</diccionario>

```

## Esquema

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?> <xs:schema
xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema"
elementFormDefault="qualified">
    <xs:element name="diccionario">
        <xs:complexType>
            <xs:sequence>
                <xs:element ref="entradas"/>
            </xs:sequence>
        </xs:complexType>
    </xs:element>
    <xs:element name="entradas">
        <xs:complexType>
            <xs:sequence>
                <xs:element maxOccurs="unbounded" ref="entrada"/>
            </xs:sequence>
        </xs:complexType>
    </xs:element>
    <xs:element name="entrada">
        <xs:complexType mixed="true">
            <xs:choice maxOccurs="unbounded">

```

```

        <xs:element name="nombre"
            type="xs:string" />
        <xs:element name="tipo"
            type="typeTipo"/>
        <xs:element name="vocablo"
            type="typeVocablo"/>
    </xs:choice>
</xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element name="abreviatura">
    <xs:complexType>
        <xs:sequence>
            <xs:element name="grafia"
                type="xs:string" />
            <xs:element name="ref-palabra"
                type="xs:string" />
        </xs:sequence>
    </xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element name="acronimo">
    <xs:complexType>
        <xs:sequence>
            <xs:element name="significado"
                type="xs:string" />
            <xs:element name="explicacion"
                type="xs:string" />
        </xs:sequence>
    </xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element name="palabra">
    <xs:complexType>
        <xs:sequence minOccurs="0">
            <xs:element ref="acepciones"/>
            <xs:element ref="sinonimos"/>
        </xs:sequence>
    </xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element name="acepciones">
    <xs:complexType>
        <xs:sequence>
            <xs:element maxOccurs="unbounded" name="acepcion"

```

```

        type="xs:string" />
    </xs:sequence>
</xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element name="sinonimos">
    <xs:complexType>
        <xs:sequence>
            <xs:element maxOccurs="unbounded" name="ref-palabra"
                type="xs:string" />
        </xs:sequence>
    </xs:complexType>
</xs:element>
<xs:complexType name="typeTipo">
    <xs:sequence>
        <xs:element name="tipo">
            <xs:simpleType>
                <xs:restriction base="xs:string">
                    <xs:enumeration value="abreviatura"/>
                    <xs:enumeration value="acronimo"/>
                    <xs:enumeration value="palabra"/>
                </xs:restriction>
            </xs:simpleType>
        </xs:element>
    </xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="typeVocablo">
    <xs:choice>
        <xs:element ref="palabra"/>
        <xs:element ref="abreviatura"/>
        <xs:element ref="acronimo"/>
    </xs:choice>
</xs:complexType>
</xs:schema>

```

## El diagrama de conceptos

El *diagrama de conceptos* establece la semántica de un dominio instructivo. El diagrama de conceptos se representa en base a conceptos y relaciones entre los mismos. Un concepto representa una entidad del dominio instructivo significativa desde el punto de vista del desarrollo de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador. Se considerarán como conceptos tanto las realidades propias del proceso instructivo como aquellas referidas al despliegue y uso del sistema. El diagrama de conceptos proporciona una representación gráfica de los conceptos del dominio, establecido su semántica y facilitando la comprensión del mismo.

### Estructura

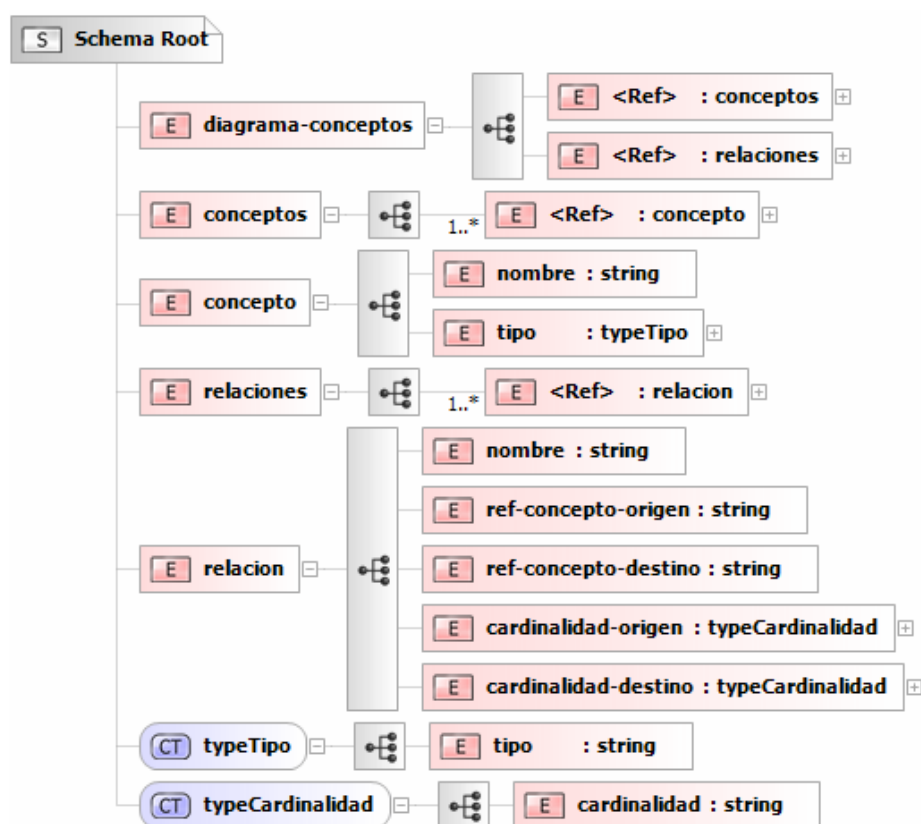


Figura B.2: Estructura del documento XML del diagrama de conceptos

**diagrama-conceptos**

Nombre	Descripción	Tipo	Req.	Mult.
conceptos	Lista de conceptos del dominio instructivo	list	obl.	1
relaciones	Lista de relaciones entre conceptos del dominio	list	obl.	1

**conceptos**

Nombre	Descripción	Tipo	Req.	Mult.
concepto	Concepto del dominio instructivo	group	obl.	1..n

**concepto**

Nombre	Descripción	Tipo	Req.	Mult.
nombre	Nombre por el cual se referencia el concepto	string	obl.	1
tipo	Tipo de concepto (actor, medio, objetivo, tarea)	string	obl.	1

**relaciones**

Nombre	Descripción	Tipo	Req.	Mult.
relacion	Relación entre conceptos del dominio	group	obl.	1..n

**relacion**

Nombre	Descripción	Tipo	Req.	Mult.
nombre	Nombre de la relación	string	obl.	1
ref-concepto-origen	Concepto origen de la relación	string	obl.	1
ref-concepto-destino	Concepto destino de la relación	string	obl.	1
cardinalidad-origen	Cardinalidad del origen (cero, uno, varios)	string	obl.	1
cardinalidad-destino	Cardinalidad del destino (cero, uno, varios)	string	obl.	1

## Documento

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?> <diagrama-conceptos>
  <conceptos>
    <concepto>
      <nombre/>
      <tipo/>
    </concepto>
    <concepto>
      <nombre/>
      <tipo/>
    </concepto>
  </conceptos>
  <relaciones>
    <relacion>
      <nombre/>
      <ref-concepto-origen/>
      <ref-concepto-destino/>
      <cardinalidad-origen>cero</cardinalidad-origen>
      <cardinalidad-destino>varios</cardinalidad-destino>
    </relacion>
    <relacion>
      <nombre/>
      <ref-concepto-origen/>
      <ref-concepto-destino/>
      <cardinalidad-origen>uno</cardinalidad-origen>
      <cardinalidad-destino>varios</cardinalidad-destino>
    </relacion>
  </relaciones>
</diagrama-conceptos>
```



## Esquema

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?> <xs:schema
xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema"
elementFormDefault="qualified">
  <xs:element name="diagrama-conceptos">
    <xs:complexType>
      <xs:sequence>
        <xs:element ref="conceptos"/>
        <xs:element ref="relaciones"/>
      </xs:sequence>
    </xs:complexType>
  </xs:element>
  <xs:element name="conceptos">
    <xs:complexType>
      <xs:sequence>
        <xs:element maxOccurs="unbounded" ref="concepto"/>
      </xs:sequence>
    </xs:complexType>
  </xs:element>
  <xs:element name="concepto">
    <xs:complexType>
      <xs:sequence>
        <xs:element name="nombre" type="xs:string"/>
        <xs:element name="tipo" type="typeTipo"/>
      </xs:sequence>
    </xs:complexType>
  </xs:element>
  <xs:element name="relaciones">
    <xs:complexType>
      <xs:sequence>
        <xs:element maxOccurs="unbounded" ref="relacion"/>
      </xs:sequence>
    </xs:complexType>
  </xs:element>
  <xs:element name="relacion">
    <xs:complexType>
      <xs:sequence>
        <xs:element name="nombre" type="xs:string"/>
        <xs:element name="ref-concepto-origen"
          type="xs:string"/>
      </xs:sequence>
    </xs:complexType>
  </xs:element>
</xs:schema>
```

```

    <xs:element name="ref-concepto-destino"
      type="xs:string"/>
    <xs:element name="cardinalidad-origen"
      type="typeCardinalidad"/>
    <xs:element name="cardinalidad-destino"
      type="typeCardinalidad"/>
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
</xs:element>
<xs:complexType name="typeTipo">
  <xs:sequence>
    <xs:element name="tipo">
      <xs:simpleType>
        <xs:restriction base="xs:string">
          <xs:enumeration value="actor"/>
          <xs:enumeration value="objetivo"/>
          <xs:enumeration value="medio"/>
          <xs:enumeration value="tarea"/>
        </xs:restriction>
      </xs:simpleType>
    </xs:element>
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="typeCardinalidad">
  <xs:sequence>
    <xs:element name="cardinalidad">
      <xs:simpleType>
        <xs:restriction base="xs:string">
          <xs:enumeration value="cero"/>
          <xs:enumeration value="uno"/>
          <xs:enumeration value="varios"/>
        </xs:restriction>
      </xs:simpleType>
    </xs:element>
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
</xs:schema>

```

## El diagrama de características

El *diagrama de características* extiende el diagrama de conceptos, representando las propiedades específicas de los conceptos del dominio en forma de características. Las características del dominio se representan agrupadas en cuatro facetas:

- Funcionalidad. Características asociadas con la funcionalidad soportada por el sistema. Se corresponde con los contenidos, las actividades y tareas instructivas, y los conocimientos o habilidades evaluables.
- Entorno operativo. Una característica del entorno operativo representa una condición bajo la cual se utiliza el sistema. El perfil del alumno, los aspectos organizativos, o las actividades de soporte se tratarán como características del entorno operativo.
- Técnicas de implementación. La faceta agrupa información referida a la forma en la cual se implementan las operativas del dominio. Se incluyen en este grupo características referidas a plataformas, servicios y herramientas utilizados por los sistemas del dominio.
- Tecnologías del dominio. La faceta representa aquellos métodos, estrategias instructivas y formas de evaluación de uso común en el dominio.

Un diagrama de características se representa como un grafo unidireccional estructurado en forma de árbol. Las características pueden ser obligatorias, opcionales o alternativas. El diagrama de características estará formado por aristas dirigidas; es decir, toda arista del diagrama definirá un sentido que establecerá la forma de recorrer los nodos del árbol. Las aristas dispondrán de un peso que establecerá el grado de dependencia existente entre los nodos unidos por la arista. A mayor peso, mayor dependencia o relación entre nodos.

## Estructura

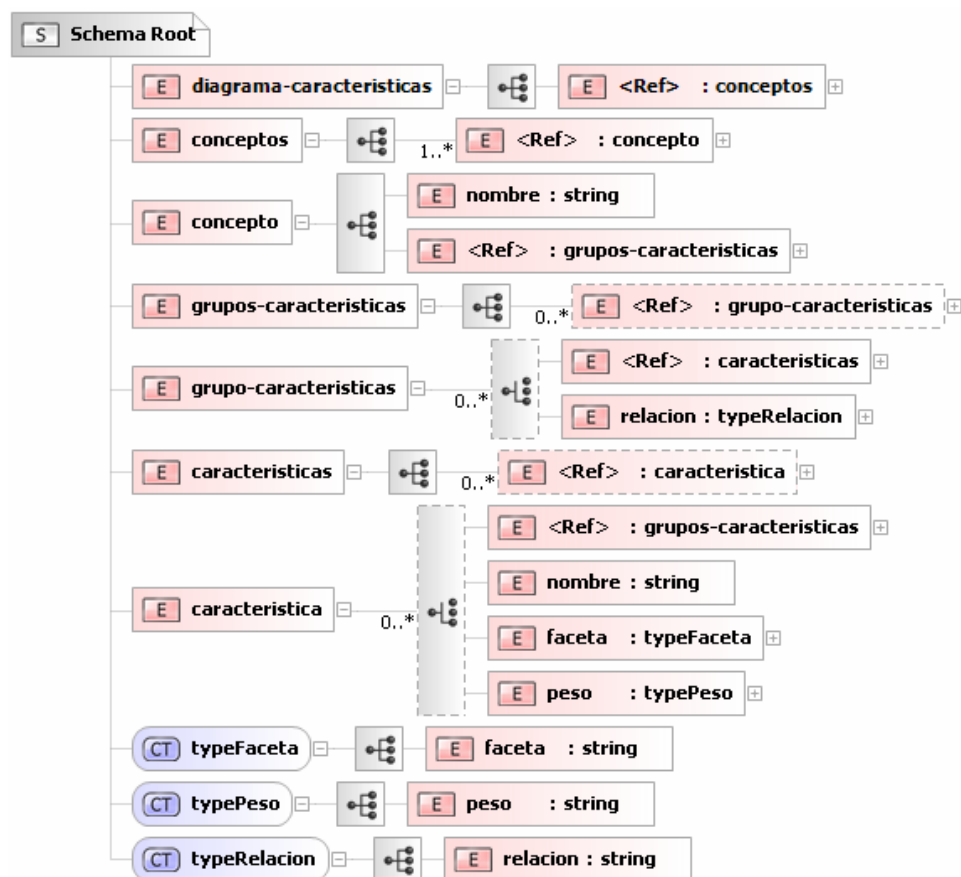


Figura B.3: Estructura del documento XML del diagrama de características

**diagrama-caracteristicas**

Nombre	Descripción	Tipo	Req.	Mult.
conceptos	Lista de conceptos del dominio	list	obl.	1

**conceptos**

Nombre	Descripción	Tipo	Req.	Mult.
concepto	Cada concepto del dominio	group	obl.	1..n

**concepto**

Nombre	Descripción	Tipo	Req.	Mult.
nombre	Nombre del concepto	string	obl.	1
grupos-caracteristicas	Lista de agrupaciones	list	opc.	0,1

**grupos-caracteristicas**

Nombre	Descripción	Tipo	Req.	Mult.
grupo-caracteristicas	Cada una de las agrupaciones que comparten relación	group	obl.	1..n

**grupo-caracteristicas**

Nombre	Descripción	Tipo	Req.	Mult.
relacion	Tipo de relacion (alternativa, obligatoria, opcional)	string	obl.	0..n
caracteristicas	Lista de características	group	obl.	1

**caracteristicas**

Nombre	Descripción	Tipo	Req.	Mult.
caracteristica	Característica de la agrupación	group	obl.	1..n

**caracteristica**

Nombre	Descripción	Tipo	Req.	Mult.
nombre	Nombre de la característica	string	obl.	1
faceta	Faceta de la característica (entorno, tecnologia, implementacion, funcionalidad)	string	obl.	1
peso	Peso de la característica (poco, habitual, muy)	string	opc.	0,1
grupos-caracteristicas	Características de la característica	list	obl.	1

## Documento

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<diagrama-caracteristicas>
  <conceptos>
    <concepto>
      <nombre/>
      <grupos-caracteristicas>
        <grupo-caracteristicas>
          <relacion>alternativa</relacion>
          <caracteristicas>
            <caracteristica>
              <nombre></nombre>
              <faceta>funcionalidad</faceta>
              <peso>poco</peso>
            </caracteristica>
            <caracteristica>
              <nombre></nombre>
              <faceta>entorno-operativo</faceta>
              <peso>muy</peso>
            </caracteristica>
          </caracteristicas>
        </grupo-caracteristicas>
      </grupos-caracteristicas>
    </concepto>
    <concepto>
      <nombre/>
      <grupos-caracteristicas>
        <grupo-caracteristicas>
          <relacion>opcional</relacion>
          <caracteristicas>
            <caracteristica>
              <nombre></nombre>
              <faceta>tecnologias</faceta>
              <peso>habitual</peso>
            </caracteristica>
            <grupos-caracteristicas>
              <grupo-caracteristicas>
                <relacion></relacion>
                <caracteristicas>
                  <caracteristica>
                    <nombre></nombre>

```

```

        <faceta></faceta>
        <peso></peso>
    </caracteristica>
</caracteristicas>
</grupo-caracteristicas>
</grupos-caracteristicas>
</caracteristica>
</caracteristicas>
</grupo-caracteristicas>
</grupos-caracteristicas>
</concepto>
</conceptos>
</diagrama-caracteristicas>

```

## Esquema

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<xs:schema
xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema"
elementFormDefault="qualified">
  <xs:element name="diagrama-caracteristicas">
    <xs:complexType>
      <xs:sequence>
        <xs:element ref="conceptos"/>
      </xs:sequence>
    </xs:complexType>
  </xs:element>
  <xs:element name="conceptos">
    <xs:complexType>
      <xs:sequence>
        <xs:element maxOccurs="unbounded" ref="concepto"/>
      </xs:sequence>
    </xs:complexType>
  </xs:element>
  <xs:element name="concepto">
    <xs:complexType>
      <xs:sequence>
        <xs:element name="nombre"
          type="xs:string" />
        <xs:element ref="grupos-caracteristicas"/>

```

```

        </xs:sequence>
    </xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element name="grupos-caracteristicas">
    <xs:complexType>
        <xs:sequence>
            <xs:element minOccurs="0" maxOccurs="unbounded" ref="grupo-caracteristicas"/>
        </xs:sequence>
    </xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element name="grupo-caracteristicas">
    <xs:complexType>
        <xs:choice minOccurs="0" maxOccurs="unbounded">
            <xs:element ref="caracteristicas"/>
            <xs:element name="relacion"
                type="typeRelacion"/>
        </xs:choice>
    </xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element name="caracteristicas">
    <xs:complexType>
        <xs:sequence>
            <xs:element minOccurs="0" maxOccurs="unbounded" ref="caracteristica"/>
        </xs:sequence>
    </xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element name="caracteristica">
    <xs:complexType>
        <xs:choice minOccurs="0" maxOccurs="unbounded">
            <xs:element ref="grupos-caracteristicas"/>
            <xs:element name="nombre"
                type="xs:string" />
            <xs:element name="faceta"
                type="typeFaceta"/>
            <xs:element name="peso"
                type="typePeso"/>
        </xs:choice>
    </xs:complexType>
</xs:element>
<xs:complexType name="typeFaceta">
    <xs:sequence>

```



```

<xs:element name="faceta">
  <xs:simpleType>
    <xs:restriction base="xs:string">
      <xs:enumeration value="funcionalidad"/>
      <xs:enumeration value="entorno-operativo"/>
      <xs:enumeration value="tecnica-implementacion"/>
      <xs:enumeration value="tecnologia-dominio"/>
    </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
</xs:element>
</xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="typePeso">
  <xs:sequence>
    <xs:element name="peso">
      <xs:simpleType>
        <xs:restriction base="xs:string">
          <xs:enumeration value="poco-habitual"/>
          <xs:enumeration value="habitual"/>
          <xs:enumeration value="muy-habitual"/>
        </xs:restriction>
      </xs:simpleType>
    </xs:element>
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="typeRelacion">
  <xs:sequence>
    <xs:element name="relacion">
      <xs:simpleType>
        <xs:restriction base="xs:string">
          <xs:enumeration value="obligatorio"/>
          <xs:enumeration value="opcional"/>
          <xs:enumeration value="alternativa"/>
        </xs:restriction>
      </xs:simpleType>
    </xs:element>
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
</xs:schema>

```

## Las reglas de negocio

Las *reglas de negocio* establecen preceptos que enriquecen y complementan el conocimiento representado por los diagramas de características. La representación de las reglas de negocio se corresponde con una lista de reglas, cada una de las cuales indica las características relacionadas, el criterio de composición existente entre las mismas y las condiciones de aplicación.

### Estructura

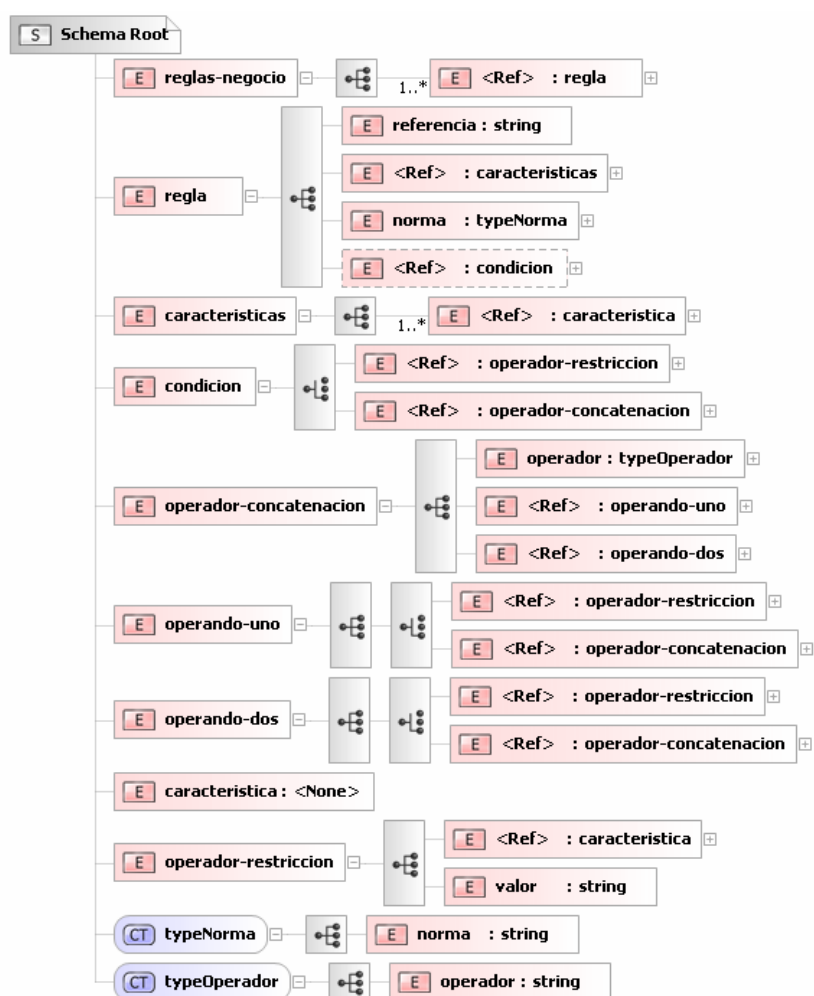


Figura B.4: Estructura del documento XML de reglas de negocio

**reglas-negocio**

Nombre	Descripción	Tipo	Req.	Mult.
regla	Cada una de las reglas de composición del modelo de características	group	obl.	1..n

**regla**

Nombre	Descripción	Tipo	Req.	Mult.
referencia	Descripción de la regla	string	obl.	1
caracteristicas	Lista de características relacionadas mediante la regla	list	obl.	1
norma	Norma de composición utilizada (inclusivo, exclusivo, facultativo)	string	obl.	1
condicion	Condición para el cumplimiento de la regla	group	obl.	1

**caracteristicas**

Nombre	Descripción	Tipo	Req.	Mult.
caracteristica	Cada una de las características de una regla de negocio	group	obl.	1..n

**condicion**

Nombre	Descripción	Tipo	Req.	Mult.
operador-restriccion	Operador de tipo restriccion	list	obl.	1
operador-concatenacion	Operador de tipo concatenacion	list	obl.	1

**operador-restriccion**

Nombre	Descripción	Tipo	Req.	Mult.
caracteristica	Característica afectada por la restriccion	group	obl.	1
valor	Valor que dispara la restricción	string	obl.	1

**operador-concatenacion**

Nombre	Descripción	Tipo	Req.	Mult.
operador	Tipo de concatenacion (and-logico, or-logico)	string	obl.	1
operando-1	Primer operando de la condición	choice	obl.	1
operando-2	Segundo operando de la condición	choice	obl.	1

**operando-uno**

Nombre	Descripción	Tipo	Req.	Mult.
operador-restriccion	Operador de tipo restriccion	group	obl.	1
operador-concatenacion	Operador de tipo concatenacion	group	obl.	1

**operando-dos**

Nombre	Descripción	Tipo	Req.	Mult.
operador-restriccion	Operador de tipo restriccion	group	obl.	1
operador-concatenacion	Operador de tipo concatenacion	group	obl.	1

**Documento**

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?> <reglas-negocio>
  <regla>
    <referencia></referencia>
    <caracteristicas>
      <caracteristica></caracteristica>
      <caracteristica></caracteristica>
      <caracteristica></caracteristica>
    </caracteristicas>
    <norma>inclusivo</norma>
  </regla>
  <regla>
    <referencia></referencia>
    <caracteristicas>
      <caracteristica></caracteristica>
      <caracteristica></caracteristica>
      <caracteristica></caracteristica>
    </caracteristicas>
    <norma>inclusivo</norma>
    <condicion>
      <operador-restriccion>
        <caracteristica></caracteristica>
        <valor></valor>
      </operador-restriccion>
    </condicion>
  </regla>
</reglas-negocio>

```

```

</regla>
<regla>
  <referencia></referencia>
  <caracteristicas>
    <caracteristica></caracteristica>
  </caracteristicas>
  <norma>inclusivo</norma>
  <condicion>
    <operador-concatenacion>
      <operador>and-logico</operador>
      <operando-uno>
        <operador-restriccion>
          <caracteristica></caracteristica>
          <valor></valor>
        </operador-restriccion>
      </operando-uno>
      <operando-dos>
        <operador-restriccion>
          <caracteristica></caracteristica>
          <valor></valor>
        </operador-restriccion>
      </operando-dos>
    </operador-concatenacion>
  </condicion>
</regla>
<regla>
  <referencia></referencia>
  <caracteristicas>
    <caracteristica></caracteristica>
    <caracteristica></caracteristica>
  </caracteristicas>
  <norma>exclusivo</norma>
</regla>
</reglas-negocio>

```

## Esquema

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?> <xs:schema
xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema"
elementFormDefault="qualified">
  <xs:element name="reglas-negocio">
    <xs:complexType>
      <xs:sequence>
        <xs:element maxOccurs="unbounded" ref="regla"/>
      </xs:sequence>
    </xs:complexType>
  </xs:element>
  <xs:element name="regla">
    <xs:complexType>
      <xs:sequence>
        <xs:element name="referencia"
          type="xs:string" />
        <xs:element ref="caracteristicas"/>
        <xs:element name="norma"
          type="typeNorma"/>
        <xs:element minOccurs="0" ref="condicion"/>
      </xs:sequence>
    </xs:complexType>
  </xs:element>
  <xs:element name="caracteristicas">
    <xs:complexType>
      <xs:sequence>
        <xs:element maxOccurs="unbounded" ref="caracteristica"/>
      </xs:sequence>
    </xs:complexType>
  </xs:element>
  <xs:element name="condicion">
    <xs:complexType>
      <xs:choice>
        <xs:element ref="operador-restriccion"/>
        <xs:element ref="operador-concatenacion"/>
      </xs:choice>
    </xs:complexType>
  </xs:element>
  <xs:element name="operador-concatenacion">
    <xs:complexType>

```

```

    <xs:sequence>
      <xs:element name="operador" type="typeOperador"/>
      <xs:element ref="operando-uno"/>
      <xs:element ref="operando-dos"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element name="operando-uno">
  <xs:complexType>
    <xs:sequence>
      <xs:choice>
        <xs:element ref="operador-restriccion"/>
        <xs:element ref="operador-concatenacion"/>
      </xs:choice>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element name="operando-dos">
  <xs:complexType>
    <xs:sequence>
      <xs:choice>
        <xs:element ref="operador-restriccion"/>
        <xs:element ref="operador-concatenacion"/>
      </xs:choice>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element name="caracteristica">
  <xs:complexType/>
</xs:element>
<xs:element name="operador-restriccion">
  <xs:complexType>
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="caracteristica"/>
      <xs:element name="valor"
        type="xs:string" />
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
</xs:element>
<xs:complexType name="typeNorma">
  <xs:sequence>

```

```
<xs:element name="norma">
  <xs:simpleType>
    <xs:restriction base="xs:string">
      <xs:enumeration value="inclusivo"/>
      <xs:enumeration value="exclusivo"/>
      <xs:enumeration value="facultativo"/>
    </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
</xs:element>
</xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="typeOperador">
  <xs:sequence>
    <xs:element name="operador">
      <xs:simpleType>
        <xs:restriction base="xs:string">
          <xs:enumeration value="and-logico"/>
          <xs:enumeration value="or-logico"/>
        </xs:restriction>
      </xs:simpleType>
    </xs:element>
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
</xs:schema>
```



# Apéndice C

## La prueba de concepto

La prueba de concepto de un artefacto de diseño tiene por objeto demostrar la capacidad del artefacto para resolver el problema para el cual fue concebido. La prueba de concepto realiza en un entorno controlado, con condiciones preestablecidas y ejecutando únicamente aquellas acciones definidas durante la fase de preparación. La ejecución de una prueba de concepto con resultados óptimos demuestra la valía del artefacto para resolver un problema, pero no certifica su validez en todos los casos. Por este motivo, la prueba de concepto suele complementarse con otros tipos de evaluaciones que permitan asegurar el cumplimiento de los objetivos establecidos.

La prueba de concepto de la presente tesis doctoral pretende demostrar la utilidad y eficacia de la solución propuesta. A fin de demostrar estas dos cualidades, se aplicará el método ComBLA en dos sentidos: (1) El análisis de un dominio instructivo. Se utilizará el método para especificar un dominio instructivo previamente establecido; y (2) El análisis de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador. Se definirá un curso del dominio asistido mediante un sistema software. La ejecución de estas dos actividades permitirá demostrar, en primer lugar, la utilidad del método para aplicar el análisis de dominios al contexto de la enseñanza asistida por ordenador y, en segundo lugar, la eficacia del método para analizar un sistema tomando como referencia el modelo de dominio previamente elaborado. Los siguientes apartados describen en detalle la prueba de concepto del método ComBLA. En primer lugar, se exponen las condiciones de la prueba; posteriormente, se describe el proceso de análisis del dominio instructivo para, finalmente, exponer el análisis de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador correspondiente al dominio analizado.

## Las condiciones de la prueba

A fin de demostrar la valía del método, se optó por ejecutar una prueba de concepto que contemplara algunos de los escenarios recopilados en el capítulo de planteamiento del problema, ver sección 3.2, y que sirvieron como base para expresar las particularidades del proceso de análisis de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador. En concreto, y por tratarse de dos situaciones habituales en el proceso de adecuación al Espacio de Educación Superior Europeo, se seleccionó un caso de prueba que contemplará los siguientes escenarios:

**E.1.** Adaptar un curso existente a un entorno virtual. El escenario se corresponde con la necesidad de adaptar un curso de formación para su despliegue en un entorno virtual. En esta situación, la labor de análisis abarcará el estudio de la situación actual y del comportamiento esperado. En concreto, el problema se corresponderá con la definición de los recursos disponibles y la especificación de un proceso instructivo previamente definido.

**E.2.** Desarrollar un curso virtual en un contexto no reglado. Se entenderá por un contexto no reglado aquel en el cual no se imparte una formación de carácter académico; por ejemplo, cursos de adecuación a empleados, formación a colectivos, empleo de tutoriales, etc. En estos casos, el análisis debe centrarse en establecer los objetivos formativos y la forma de utilización del sistema, dejando a los diseñadores instructivos total libertad para la definición de la estrategia instructiva y la elaboración de materiales.

Un ejemplo de ambas situaciones se encontró en el proyecto piloto acometido en el primer curso de la titulación de Ingeniería Informática de la Universidad Carlos III de Madrid. La ejecución del proyecto piloto pretende poner en práctica los principios de la Declaración de Bolonia [34] como forma de comprobar su adecuación al contexto educativo español. En particular, se tomo como ejemplo la revisión realizada de un curso de iniciación a la programación impartido en el primer año de la titulación.

## La programación de computadores

El método ComBLA establece un proceso de análisis dividido en dos etapas, la primera de las cuales se encarga de analizar un dominio instructivo a fin de elaborar un modelo que represente el conocimiento del dominio. Esta primera etapa, conocida como análisis del dominio, es la aportación mas novedosa y significativa de la solución.

Habitualmente, el proceso de análisis se iniciará con la petición de un cliente de elaborar o adaptar un curso de formación. A partir de la información del curso se identificará y delimitará el dominio instructivo a analizar. En este caso, se ha partido de otro supuesto: la existencia de un área o disciplina de interés de la cual se desea elaborar un modelo que facilite la especificación de futuros cursos de formación. En particular, el caso de prueba propuesto se centra en el contexto de la *programación de computadores*. La programación de computadores es una actividad compleja cuyo aprendizaje implica un largo periodo de tiempo, caracterizado por la elevada carga de actividades y ejercicios de laboratorio que permitan poner en práctica los conocimientos adquiridos. Esta condición ha motivado que la enseñanza de programación no se adapte adecuadamente al modelo tradicional de enseñanza, basado en la clase maestra y la exposición de contenidos. Asimismo, el hecho de que la programación requiere la constante interacción con un computador ha motivado que la enseñanza de la programación en entornos virtuales haya tenido una especial aceptación y éxito [57]. La suma de estos factores han contribuido a la elección de esta disciplina como objeto de interés de la prueba de concepto.

La primera etapa del proceso de análisis se divide en cuatro actividades, las cuales pueden agruparse en dos labores o cometidos: la definición del alcance del dominio y la descripción del dominio. La definición del alcance del dominio se encarga de estudiar la disciplina indicada y las formas de instrucción relacionadas con la misma a fin de establecer los límites del dominio; en cuanto a la descripción del dominio, se realizan las tareas necesarias para elaborar un modelo que represente el conocimiento del dominio. A lo largo del proceso, se mostrarán ejemplos de los productos generados por las distintas actividades. A fin de no ampliar en exceso la extensión de esta memoria, en algunos casos se recogerán únicamente fragmentos significativos de los productos correspondientes. El propósito es disponer de un ejemplo de la forma de trabajo del método ComBLA pero evitando caer en la reiteración o la obviedad.

## **El alcance del dominio**

El estudio del alcance del dominio permite determinar qué forma parte del dominio, y por tanto qué debe ser considerado y modelizado, y qué no. El alcance del dominio se establece mediante dos actividades: (1) La identificación del dominio. La actividad se encarga de establecer cual es el ámbito o contexto instructivo de interés; y (2) La delimitación del dominio. Se definen una serie de elementos que establecen los límites del dominio. A continuación, se expondrán las tareas y productos correspondientes a cada una de estas actividades.

### **La identificación del dominio**

La identificación del dominio se asienta sobre dos factores: la disciplina implicada y el paradigma educativo utilizado. A partir de estas dos premisas es posible establecer un dominio instructivo e iniciar el proceso de análisis que finalizará en la elaboración del modelo que represente el conocimiento del dominio. La actividad de identificación del dominio se encargará de revisar las condiciones que motivaron el proceso de análisis a fin de poder identificar tanto los contenidos implicados como la forma de instrucción aplicada. Las conclusiones y factores considerados durante la actividad de identificación del dominio deberán ser cotejados con fuentes de conocimiento estables que demuestren que se trata de una elección fidedigna.

### **Tareas**

La actividad de identificación del dominio del método ComBLA comprende cuatro tareas: (1) Determinar la disciplina; (2) Fijar la forma de instrucción; (3) Proponer un dominio instructivo; y (4) Validar el dominio. La primera de las tareas es responsable de determinar la disciplina de interés; en este caso, la disciplina viene fijada por las condiciones de la propia prueba de concepto: la programación de computadores. Este supuesto se correspondería con un escenario en el cual se pretende disponer de un catálogo de modelos de dominio como paso previo a la especificación masiva de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador. En otras situaciones, en el cual el análisis del dominio se acomete como resultado de la necesidad de desarrollar un curso específico, la disciplina se deducirá de los conocimientos que se deseen transmitir en el curso.

Respecto a la forma de instrucción, antes de fijarla, es necesario estudiar los distintos paradigmas instructivos conocidos y las particularidades del aprendizaje de la programación de computadores. Un paradigma establece una estructura de pensamiento que determina la percepción que se tiene de los participantes en el proceso instructivo y, en consecuencia, fija la forma de instrucción. En el momento actual es posible identificar dos paradigmas instructivos esenciales: el «objetivismo» y el «constructivismo» [94]. El primero de los paradigmas establece la existencia de un conocimiento válido por sí mismo, que debe ser transmitido a los alumnos quienes toman una actitud pasiva ante la instrucción; por el contrario, el constructivismo entiende que el conocimiento se construye en cada uno de los alumnos siendo necesaria la participación de los mismos en el proceso instructivo. La forma de instrucción puede venir condicionada por los requisitos de los interesados en el curso a específica y, como es el caso, por la propia disciplina. Existen ciertas disciplinas que, dadas sus particularidades y el tipo de conceptos a transmitir, se acomodan a un paradigma instructivo. La programación de computadores se caracteriza por transmitir un tipo de conocimiento muy amplio pero unos contenidos bastante específicos: básicamente, es necesario conocer la sintaxis de un lenguaje de programación y una serie de estrategias referidas a la forma de utilización del mismo. El principal problema de la programación de computadores reside en: (1) La necesidad de aplicar la estrategia adecuada según el caso; (2) La capacidad para el trabajo cooperativo; y (3) La generación de nuevo conocimiento a partir del conocimiento adquirido [132]. El resultado es la necesidad de una forma de instrucción que no se limite a la mera transmisión de fragmentos de conocimiento, sino que proporcione a los alumnos los mecanismos necesarios para la resolución de situaciones novedosas. Se trata, por tanto, de una disciplina que requiere una estrategia instructiva acorde con el paradigma constructivista. El resultado será un dominio instructivo, conocido como *el aprendizaje y la enseñanza de la programación de computadores*, caracterizado por instruir en la programación de computadores mediante escenarios educativos que reproduzcan problemas o situaciones del mundo real.

La última tarea de la actividad es responsable de la revisión del trabajo realizado a fin de constatar la validez del dominio instructivo identificado. Tomando como referencia la definición aportada en la sección 4.1.3, la tarea de validación del dominio se encargará de comprobar la existencia de unos contenidos bien delimitados, de unos objetivos pedagógicos específicos y de una forma de instrucción determinada.

La tarea corrobora estos criterios tomando como referencia los siguientes factores:

- Catálogo bibliográfico. El catálogo *Computing Classification System*, referencia en el mundo de las ciencias de la computación, recoge dos áreas, denominadas como *Software* y *Theory of Computation*, relacionadas entre sí y referidas a la actividad de la programación de computadores. Este hecho constata la existencia de unos contenidos concretos y bien delimitados propios de una disciplina específica.
- Planes de estudio. El segundo factor se obtiene de la revisión de los planes de estudios de la titulación de Ciencias de la Computación, o Ingeniería Informática, de distintas instituciones académicas. El estudio muestra que en su mayoría la programación de computadores se considera como un elemento definitorio del perfil deseado de los titulados. Este hecho constata dos circunstancias: (1) Se trata de unos contenidos que trasciende el ámbito de una asignatura pero sin alcanzar el grado de área de conocimiento; y (2) Existen unos objetivos pedagógicos específicos que deben ser alcanzados a lo largo de un periodo formativo.
- Docentes. El estudio de las estrategias y modelos instructivos habituales en las asignaturas de enseñanza de la programación muestra la existencia de una forma de instrucción específica basada en los principios del paradigma constructivista.

Un último factor considerado, y que refuerza la idea de tratar la enseñanza y aprendizaje de la programación como un dominio instructivo, es la existencia de numerosas publicaciones científicas sobre el tema, así como congresos y trabajos de investigación orientados a la mejorar la forma de enseñanza de la programación de computadores. Todos estos factores demuestran que se trata de un contexto docente con suficiente entidad como para ser tratado como un dominio instructivo.

## Producto

El resultado de la actividad de identificación del dominio será un memorándum redactado en lenguaje natural que reseñe el dominio instructivo seleccionado y exponga el motivo de su elección. El documento manifiesta el ámbito de realización del proceso de análisis dejando constancia de su validez y relevancia.

De acuerdo al formato propuesto en el capítulo de solución, el documento tendrá un contenido similar al siguiente:

**Denominación del dominio.** El dominio instructivo se denomina como el dominio de *El aprendizaje y la enseñanza de la programación de computadores*.

**Definición del dominio.** El dominio del aprendizaje y la enseñanza de la programación de computadores hace referencia al conjunto de escenarios educativos orientado a la formación de un programador informático. El dominio instructivo abarca el aprendizaje tanto de lenguajes de programación como de estrategias y técnicas que aseguran la correcta resolución de problemas mediante la elaboración de programas ejecutados en un computador.

**Criterios de selección.** La selección del dominio se basa en la existencia de una disciplina concreta y una forma de instrucción específica. En cuanto a la disciplina, el dominio agrupa el conjunto de sistemas para la instrucción concebidos para instruir en el concepto de la programación de computadores. En lo que respecta a la forma de instrucción, es posible identificar una serie de escenarios educativos específicos basados en la resolución de ejercicios, problemas y prácticas de laboratorio que pretenden simular situaciones del mundo real. Se trata, por tanto, de un dominio instructivo caracterizado por la aplicación de los principios del paradigma constructivista.

**Forma de validación.** La validación se ha basado en la opinión de docentes en la materia y en la propia experiencia de los participantes en el proceso de análisis. Tanto en un caso como en otro, se trata de individuos con una experiencia superior a tres años en el diseño de cursos relacionados con la programación de computadores y, en consecuencia, pueden tomarse como expertos del dominio. Además, se ha tomado como referencia distintas publicaciones académicas y artículos de investigación que demuestran la existencia de un contexto educativo específico caracterizado por unos contenidos, unos objetivos pedagógicos y una forma de instrucción.

Como se puede observar en el ejemplo presentado, el documento de identificación del dominio no debe ser muy extenso ni preciso. El documento se debe limitar a constatar la existencia de un contexto educativo con peculiaridades suficientes como para condicionar el desarrollo de determinado tipo de sistemas para la instrucción.

## La delimitación del dominio

Una vez establecido el dominio instructivo de interés, el siguiente paso se encargará de definir el alcance del dominio, entendiendo el alcance como el conjunto de escenarios educativos que forman parte de un dominio instructivo. La actividad de delimitación del dominio realiza un estudio de la naturaleza y condiciones de los escenarios educativos a considerar, estableciendo de esta manera los límites del dominio instructivo objeto de interés. El resultado de la delimitación del dominio será un documento que complementa el memorandum elaborado en la actividad anterior y fije las bases para el posterior modelado del dominio.

### Tareas

La actividad de delimitación del dominio se centra en la revisión y recopilación de información del dominio. El método ComBLA establece una actividad dividida en tres tareas: (1) Recopilar información sobre el proceso instructivo y la forma de instrucción; (2) Recopilar información sobre sistemas instructivos del dominio; y (3) Elaborar un documento de contexto que refleje la información recopilada. A continuación, se expondrá el resultado de cada una de estas tareas en el caso del dominio de la enseñanza de la programación de computadores.

Un dominio instructivo es una realidad compleja que abarca información diversa sobre las actividades de enseñanza y aprendizaje en el dominio: información sobre la forma de diseñar la instrucción, sobre el perfil de docentes y alumnos, recursos instructivos disponibles, experiencias docentes, etc. Sin embargo, no toda esta información resulta significativa para el propósito del método ComBLA: disponer de una descripción de aquellos aspectos del dominio que condicionan el desarrollo de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador. Así, por ejemplo, la información referida a actividades instructivas que requieren un contacto directo entre los participantes del proceso instructivo y que, por tanto, no pueden llevarse a cabo en un entorno virtual, quedarán fuera del alcance del dominio. Entre la información significativa para el propósito del método ComBLA, el factor más relevante tiene que ver con la forma en la cual se diseña el proceso instructivo. La primera tarea de la actividad de delimitación del dominio se encarga de revisar distintas fuentes de información a fin de establecer los métodos o estrategias más adecuadas para la definición del proceso instructivo de los sistemas del dominio.



En el caso del dominio considerado, el estudio del proceso instructivo toma como referencia tres fuentes de información:

- Teorías del diseño de la instrucción. La revisión de las teorías del diseño de la instrucción evidencia una serie de estrategias o métodos de instrucción específicos del paradigma constructivista. Entre las mismas, se puede mencionar la resolución colaborativa de problemas [119], el aprendizaje basado en problemas [96, 97] o la instrucción mediante casos prácticos o proyectos [112]. Todas estas formas de instrucción están concebidas para promover situaciones de aprendizaje orientadas a la comprensión de problemas y a la reproducción de la solución aportada.
- Patrones del diseño de la instrucción de la disciplina. La particularidad de la disciplina de la programación de computadores ha llevado a la elaboración de numerosos trabajos académicos que establecen patrones o recomendaciones sobre el diseño de la instrucción de la disciplina. La consulta de estos trabajos revela una forma de instrucción basada en la resolución de ejercicios y problemas [40], en la cual el trabajo cooperativo y en equipo tiene una gran relevancia [132]. Además, se concede gran importancia a la inclusión de mecanismos de retroalimentación.
- Docentes de la disciplina. En último lugar, se consultó a distintos docentes con gran experiencia, cinco o más años, impartiendo asignaturas relacionadas con la programación de computadores. La conclusión de esta consulta reveló una forma de instrucción basada en la impartición de conceptos teóricos y la aplicación de los mismos mediante ejercicios y prácticas en laboratorio.

El método expuesto en el capítulo de solución recoge una fuente de información adicional que no sido considerada en la ejecución de esta prueba de concepto: la educación de información de expertos en el diseño de la instrucción. En este caso, se ha considerado que la información existente sobre la forma de instrucción de la disciplina compensaba el conocimiento aportado por esta fuente de información. Este hecho revela un aspecto interesante del método ComBLA: el método promueve la sistematización del proceso de análisis pero dando libertad a los analistas para ampliar o simplificar el proceso según el contexto.

La segunda tarea de la actividad de delimitación del dominio pasa por la revisión de distintos sistemas instructivos del dominio a fin de recopilar información sobre la forma en la cual se implementa el proceso instructivo. La tarea se centrará en recopilar información sobre recursos disponibles, perfil de los destinatarios del proceso instructivo y medios tecnológicos habituales en el dominio. La tarea de revisión de sistemas instructivos del dominio tendrá en consideración tanto sistemas asistidos por ordenador como cursos de formación presenciales. De cada uno de ellos se deberá matizar la información disponible, recopilando únicamente la información significativa para el propósito del trabajo: el análisis de sistemas de aprendizaje asistido por ordenador. A continuación, se realizará una breve descripción del resultado de revisar distintos sistemas y cursos de formación del dominio de la enseñanza de la programación de computadores.

La revisión de los sistemas del dominio se inicia con el estudio del tipo de alumnos o destinatarios del proceso instructivo. El tipo de alumnos del dominio viene determinado por dos factores: (1) Grado de conocimiento. El grado de conocimiento viene determinado tanto por la capacidad de los alumnos para asimilar conceptos como por su habilidad para resolver determinados problemas. Así, por ejemplo, un alumno con conocimientos en un determinado lenguaje de programación que curse una asignatura impartida en otro lenguaje tendrá limitaciones a la hora de aplicar la sintaxis del lenguaje pero no al establecer la estrategia de programación más adecuada. Esta realidad obliga a establecer una clasificación de tipos de alumnos que contemple ambas realidades; y (2) Perfil formativo. Se ha demostrado que existen una relación directa entre el perfil formativo del alumno y su capacidad para asimilar conceptos de programación. Por ejemplo, los alumnos con perfil técnico o formación matemática tienen menos problemas al cursar asignaturas de programación. Se pueden incluir en este grupo aquellos individuos habituados al uso de aplicaciones y sistemas informáticos. La diferenciación del perfil formativo del alumno deberá considerarse únicamente al referirse a alumnos con conocimientos de programación limitados. Existen otros factores, como puede ser la forma de aprendizaje del alumno, que pueden deducirse del estudio de cursos de formación y sistemas del dominio; sin embargo, se trata de características individuales que difícilmente pueden tomarse en consideración al diseñar un sistema de aprendizaje para un grupo de alumnos. El estudio de estos factores quedará fuera del análisis del dominio siendo tratados, si procede, por los diseñadores instructivos del sistema.

Una vez establecido el perfil de los destinatarios del proceso instructivo es necesario estudiar el tipo de recursos y materiales instructivos empleados. Fruto de esta revisión, se pueden establecer el tipo de contenidos habituales en el dominio. La enseñanza de la programación de computadores se centra en dos tipos de enseñanzas: conceptos de programación y estrategias de programación. A su vez, es posible diferenciar entre enseñanzas encaminadas a implementar o diseñar un programa. Conceptos de programación encaminados a implementar un programa sería la sintaxis del lenguaje de programación y, dentro de este grupo, se podría diferenciar entre tipos de datos, sentencias de control o manejo de ficheros. De la misma manera, nociones sobre estructuras de datos, patrones de diseño o métodos de desarrollo se clasificarían como conceptos encaminados al diseño de programas. En cuanto a las estrategias de programación, también es posible diferenciar entre estrategias orientadas a la implementación de programas, como las técnicas de programación o el diseño de algoritmos, y las dirigidas al diseño, como los principios de diseño o las estrategias de desarrollo (*top-down* o *bottom-up*). Por lo que se refiere a los materiales educativos, existen amplios catálogos de recursos sobre conceptos de programación, principalmente centrados en el estudio de tipos de datos, sentencias de control, estructuras de datos y patrones de diseño. Por el contrario, los materiales disponibles sobre estrategias de programación son mucho más reducidos, con la excepción de los materiales sobre análisis y diseño de algoritmos.

El último paso de la actividad tiene por objeto conocer los medios tecnológicos utilizados para dar soporte a los sistemas del dominio. En este punto nos encontramos ante dos tendencias: el desarrollo de aplicaciones informáticas *ad-hoc* que den soporte a la instrucción y el empleo de sistemas para la gestión del aprendizaje (LMS, *Learning Management System*). En ambos casos, se tratan habitualmente de sistemas desplegados en un servidor central y accesibles a través de Internet. En cuanto a los servicios, se diferencia entre servicios instructivos y de soporte. Los servicios instructivos hacen referencia a aquellas operaciones proporcionadas por el sistema y que intervienen en el proceso instructivo. Servicios de autoría, gestión y publicación de contenidos, evaluación, mensajería o grupos de discusión se encuentran en este grupo. Los servicios de soporte identifican las operaciones del sistema que permiten la correcta utilización y administración del sistema. Se incluyen en este grupo servicios de autenticación, monitorización o auditoría.

## Producto

Como en el caso de la actividad de identificación del dominio, el resultado de la actividad es un documento redactado en lenguaje natural que recopila la información analizada durante el proceso de delimitación del dominio. De acuerdo con el formato propuesto en la definición del método, el documento tendrá un contenido similar a:

**Fuentes de información.** En la realización de la actividad se han considerado cuatro fuentes de información: (1) Teorías del diseño de la instrucción sobre la forma de organizar el proceso instructivo de acuerdo al paradigma constructivista; (2) Documentación y trabajos de investigación sobre la forma habitual de enseñanza de la programación de computadores; (3) Opiniones de docentes con experiencia contrastada; y (4) Cursos de formación y asignaturas de la materia impartidas en estudios superiores. En la descripción de esta prueba de concepto, puesto que se ha desglosado cada una de las tareas de la actividad exponiendo las fuentes bibliográficas consultadas, no se volverán a enumerar las referencias. En el caso de aplicar el método en otra situación, el documento deberá incluir la lista de referencias bibliográficas consultadas.

**Operativa.** El dominio instructivo se caracteriza por dos tipos de contenidos: conceptos de programación y estrategias de programación. A su vez, estos contenidos pueden dividirse en contenidos para la implementación y para el diseño de programas. El tipo de alumno se puede clasificar en cinco grupos: neófito, aprendiz, competente, avanzado y experto. En cuanto a los servicios instructivos, se utilizan los habituales en sistemas de aprendizaje asistido por ordenador.

**Soporte.** Los sistemas del dominio suelen desplegarse en LMS comerciales, como Moodle, WebCT o LAMS. Estas herramientas ya aportan los servicios de soporte imprescindibles. Además, en el caso del dominio considerado, existen numerosos ejemplos de software educativo concebidos para obtener una representación visual de abstracciones de programación.

El documento de delimitación del dominio debe considerarse como una extensión del memorandum elaborado en la actividad anterior. La unión de ambos documentos ofrece una visión general del dominio instructivo, constatando las fuentes de conocimiento y la información de referencia que guiará el modelado del dominio.

## La descripción del dominio

La descripción del dominio abarca el conjunto de tareas encaminadas a obtener un modelo de dominio que represente el conocimiento del dominio instructivo. El método ComBLA describe un dominio instructivo en base a dos realidades: (1) Concepto. Cada una de las entidades que siendo relevantes para el proceso de aprendizaje tienen sentido en el dominio instructivo considerado; y (2) Característica. Una cualidad distinguible de un sistema para el aprendizaje que es relevante desde el punto de vista del proceso de aprendizaje en un dominio instructivo específico. Los conceptos ofrecen una visión general de la semántica del dominio, mientras que las características particularizan y detallan dichos conceptos. A continuación, se expone el modelo de dominio de *el aprendizaje y la enseñanza de la programación de computadores*, detallando las tareas acometidas y explicando los resultados obtenidos desde dos puntos de vista: el modelo de conceptos y el modelo de características del dominio.

### El modelo de conceptos

El primer objetivo del modelo de dominio es definir el lenguaje del dominio; es decir, el conjunto de vocablos y conceptos que establecen la terminología del dominio instructivo considerado. La definición del lenguaje del dominio se basa en dos tipos de artefactos: el diccionario del dominio y el diagrama de conceptos. La conjunción de ambos artefactos facilita la comunicación entre los participantes en el proceso de desarrollo y establece la base para la definición de la semántica del dominio.

#### El diccionario del dominio

El diccionario del dominio proporciona un catálogo de términos específicos de un dominio instructivo, así como un resumen de los vocablos habituales del dominio de la instrucción. La elaboración del diccionario del dominio toma como referencia la revisión realizada durante la fase de delimitación de dominio. A partir de la documentación recopilada, y como primera tarea de la actividad de definición del diccionario del dominio, se identifican términos específicos del dominio con sentido desde el punto de vista del proceso instructivo. Esta última condición descarta todos aquellos términos que, aún siendo propios del dominio analizado, no tienen que ver con la forma en la cual se acomete la instrucción.

Como se ha comentado en varias ocasiones a lo largo de este trabajo, la forma de instrucción depende de los contenidos a impartir, de los objetivos educativos perseguidos, del perfil del alumno y la metodología instructiva empleada. La metodología utilizada depende del dominio instructivo de interés pero su definición es común para todo el contexto de la instrucción; por este motivo, durante esta primera actividad únicamente se considerarán términos referidos a:

- **Objetivos.** Los objetivos del dominio se pueden clasificar en dos grupos: objetivos genéricos, habitualmente relacionado con habilidades cognitivas, y objetivos específicos o concretos, asociados a competencias propias del dominio. A fin de facilitar la comprensión de los objetivos específicos, es necesario incluir en el diccionario del dominio el conjunto de términos que definen las competencias propias del dominio. Un ejemplo de competencia del dominio de la enseñanza de la programación de computadores tiene que ver con la evaluación de programas. En este caso, es necesario incluir en el diccionario del dominio el vocablo «evaluación» para concretar su significado y diferenciarlo, por ejemplo, de la evaluación como actividad instructiva.
- **Contenidos.** Los contenidos del dominio es uno de los elementos definitorios del dominio instructivo. La descripción de estos contenidos requiere de un vocabulario específico que evite equívocos o ambigüedades.
- **Estudiantes.** Habitualmente, el perfil del alumno se denomina mediante términos genéricos como «novel», «avanzado» o «intermedio». Sin embargo, en ocasiones, y a fin de concretar las cualidades del perfil del alumno, se recurre a términos propios del dominio instructivo (por ejemplo, «programador», «analista», «técnicos de pruebas») que es necesario incluir en el diccionario del dominio.

El resultado obtenido es un glosario de términos que recoge el vocablo, su tipo y una definición del mismo. La figura C.1 muestra un extracto del glosario de términos específicos del dominio instructivo de la enseñanza de la programación de computadores. Como se muestra en el ejemplo, el diccionario se centra en recopilar términos cuyo significado en el dominio difiere del significado habitual del término.

Vocablo	Tipo	Definición	Sinónimos
Alg.	Abreviatura	Algoritmo	
Algoritmo	Palabra	Conjunto ordenado y finito de operaciones que permite hallar la solución de un problema.	
Analista	Palabra	Perfil de estudiante avanzado. Persona encargada de realizar el estudio de un sistema software.	
Bucle	Palabra	Tipo de sentencia basada en la repetición condicional de una serie de instrucciones	
Codificación	Palabra	Acción y efecto de codificar. Elaboración de un programa.	
Diseño	Palabra	Acción y efecto de diseñar. Definición de un programa.	
Evaluación	Palabra	Acción y efecto de evaluar. Conjunto de tareas orientas a comprobar el correcto funcionamiento de un programa.	Pruebas
F.I.L.O.	Acrónimo	First Input Last Output. Estrategia de encolamiento de datos en colecciones de elementos.	L.I.F.O.
Implementación	Palabra	Acción y efecto de codificar. Elaboración de un programa informático.	Codificación
Instrucción	Palabra	Expresión generalmente formada por números, letras y signos, que indica la operación que debe realizar	
L.I.F.O	Acrónimo	Last In Fist Out. Estrategia de encolamiento de datos en colecciones de elementos.	
Operador	Palabra	Simbolo que denota un conjunto de operaciones que han de realizarse	
Programa	Palabra	Conjunto unitario de instrucciones que permite a un ordenador resolver un problema específico	
Programador	Palabra	Perfil de estudiante avanzado. Persona encargada de realizar la codificación de un sistema software	
Sentencia	Palabra	Secuencia de expresiones que especifica una o varias operaciones	Comando
Técnico de pruebas	Palabra	Perfil de estudiante avanzado. Persona encargada de realizar la evaluación de un sistema software	
Variable	Palabra	Espacio de memoria del ordenador designado por un nombre que guarda un valor ajustado a su tipo	

Figura C.1: Extracto del glosario de términos específicos del dominio instructivo

Una vez identificados, catalogados y definidos los términos propios del dominio del aprendizaje y la enseñanza de la programación de computadores, el paso siguiente es completar el diccionario con vocablos habituales en el campo de la enseñanza asistida por ordenador. El objetivo de esta tarea es disponer de un único glosario de términos que facilite la comunicación entre los distintos participantes en el proceso de desarrollo. La definición de estos términos generales no debe realizarse desde cero, sino que pueden tomarse como referencia glosarios sobre el diseño de la instrucción ya existentes. La figura C.2 recoge un extracto de términos habituales en el contexto del diseño de la instrucción incluidos en el diccionario del dominio.

Vocablo	Tipo	Definición	Sinónimos
<b>Actividad (instructiva)</b>	Palabra	Conjunto organizado de tareas encaminadas a alcanzar unos objetivos educativos específicos	
<b>Competencia</b>	Palabra	Capacidad de un individuo para poner en práctica el conjunto de habilidades que permiten ejecutar una tarea determinada en un contexto específico	
<b>Conocimiento</b>	Palabra	Saber estructurado adquirido por un individuo como resultado de un proceso de aprendizaje	
<b>Destreza</b>	Palabra	Pericia o disposición para algo. Meta-conocimiento que permite a una persona ejecutar una misma acción en distintos contextos	
<b>Estrategia instructiva</b>	Palabra	Sucesión de actividades instructivas organizadas de acuerdo a un procedimiento conocido	Método instructivo
<b>Evaluación</b>	Palabra	Actividad instructiva orientada a valorar el grado de cumplimiento de los objetivos educativos por parte del alumno	
<b>Método instructivo</b>	Palabra	Sucesión de actividades instructivas organizadas de acuerdo a un procedimiento conocido a fin de alcanzar unas habilidades determinadas	
<b>Habilidad</b>	Palabra	Pericia o disposición para algo. Meta-conocimiento que permite a una persona ejecutar una misma acción en distintos contextos	Destreza
<b>L.M.S</b>	Acrónimo	Learning Management System. Sistema software concebido para administrar y gestionar un curso	
<b>P.B.L.</b>	Acrónimo	Problem Based Learning. Método instructivo basado en la resolución de problemas prácticos como medio para alcanzar los objetivos educativos	

Figura C.2: Extracto del glosario de términos sobre diseño de la instrucción



Finalmente, y a fin de permitir una posible manipulación automática, el diccionario del dominio se almacena en un fichero XML que respete el modelo conceptual del artefacto. El fichero generado deberá respetar el esquema XML recogido en el anexo B de este documento. A continuación, se recoge un extracto del diccionario del dominio representando en formato XML.

```
<diccionario>
  <entradas>
    <entrada>
      <nombre>algoritmo</nombre>
      <tipo>palabra</tipo>
      <vocablo>
        <palabra>
          <acepciones>
            <acepcion>
              Conjunto ordenado de operadores que permiten hallar la
              solución a un problema
            </acepcion>
          </acepciones>
        </palabra>
      </vocablo>
    </entrada>
    <entrada>
      <nombre>alg</nombre>
      <tipo>abreviatura</tipo>
      <vocablo>
        <abreviatura>
          <grafia>alg.</significado>
          <ref-palabra>algoritmo</ref-palabra>
        </abreviatura>
      </vocablo>
    </entrada>
    <entrada>
      <nombre>codificacion</nombre>
      <tipo>palabra</tipo>
      <vocablo>
        <palabra>
          <acepciones>
            <acepcion>
              Acción y efecto de codificar. Elaboración de
```

```

        un programa
        </acepcion>
    </acepciones>
</palabra>
</vocablo>
</entrada>
<entrada>
    <nombre>FILO</nombre>
    <tipo>acronimo</tipo>
    <vocablo>
        <acronimo>
            <significado>First Input Last Output</significado>
            <explicacion>
                Estrategia de encolamiento de datos en colecciones de
                elementos. El primer elemento en introducirse será el último
                en extraerse
            </explicacion>
        </acronimo>
    </vocablo>
</entrada>
<entrada>
    <nombre>implementación</nombre>
    <tipo>palabra</tipo>
    <vocablo>
        <palabra>
            <acepciones>
                <acepcion>
                    Acción y efecto de codificar. Elaboración de un programa
                    informático
                </acepcion>
            </acepciones>
            <sinonimos>
                <ref-palabra>codificación</ref-palabra>
            </sinonimos>
        </palabra>
    </vocablo>
</entrada>
<entradas>
</diccionario>

```

## El diagrama de conceptos

El diagrama de conceptos establece la semántica de un dominio instructivo. El diagrama de conceptos se representa en base a conceptos y relaciones entre los mismos. Los conceptos del dominio instructivo se clasifican en:

- Actor. Se entiende por actor cada uno de los individuos que desempeña una función representativa en el dominio instructivo.
- Tarea. Cada una de las actividades u operativas propias del dominio instructivo. Habitualmente, una tarea es realizada por un actor y su ejecución tiene repercusión en otro actor del dominio.
- Objetivo. Fin último de las tareas del dominio instructivo. Los objetivos pueden hacer referencia a propósitos educativos u operativos.
- Medio. Conjunto de elementos disponibles para la realización de una tarea del dominio. Un medio hace referencia a cualquier recurso físico o lógico utilizado en el dominio. Se clasificarán como medios los contenidos, los materiales y servicios instructivos, las herramientas de soporte, etc.

La relación existente entre los tipos de conceptos nos permite establecer una secuencia de identificación y representación de los conceptos del dominio instructivo. En primer lugar, y dado su carácter restringido, se identificarán los actores participantes en el proceso instructivo. En el caso de dominio de la enseñanza de la programación de computadores se definieron tres tipos de actores: (1) Alumno. Individuo que cursa estudios; (2) Profesor. Responsable de la instrucción de uno o varios estudiantes; y (3) Tutor. Individuo encargado de tutelar el aprendizaje de uno o varios estudiantes. Una vez establecidos los actores se identifican los tipos de objetivos más habituales en el dominio instructivo. En el caso de la enseñanza de la programación los objetivos se corresponde con la adquisición de competencias que permitan la ejecución de tareas de diseño, codificación y evaluación de programas. Cada una de estas competencias requiere de un conjunto de habilidades y una serie de conocimientos. Así mismo, y tal y como se identificó durante la fase de delimitación del dominio, estos conocimientos se corresponden con una serie de contenidos. La figura C.3 recoge un fragmento del diagrama de conceptos que representa los objetivos educativos del dominio instructivo del aprendizaje y la enseñanza de la programación de computadores.

Una vez representados los actores del proceso instructivo y los objetivos educativos, el paso siguiente se encargará de identificar las tareas del dominio. La definición de tareas debe realizarse a alto nivel; es decir, no debe detallarse la totalidad de actividades u operativas del dominio, sino únicamente ofrecer una clasificación de las mismas a fin de ofrecer una guía para el posterior modelado de características. Las tareas identificadas en el dominio de la instrucción se agrupan en tres tipos:

- **Aprendizaje.** Conjunto de tareas acometidas por los estudiantes bajo la supervisión de un profesor o la tutela de un tutor para alcanzar uno o varios objetivos educativos.
- **Seguimiento.** Conjunto de tareas orientadas al seguimiento de las actividades de aprendizaje de los estudiantes
- **Gestión.** Se entiende como tal el conjunto de tareas que no formando parte del proceso instructivo propiamente dicho asisten al mismo y permiten su puesta en práctica.

Puesto que todo dominio instructivo forma parte de un contexto más complejo pero ya de por sí restringido, como es el contexto de la instrucción, y dado que la definición de tareas se realiza a alto nivel, el modelo conceptual de los distintos dominios presenta grandes semejanzas en lo referido a los conceptos del tipo tarea. La definición de actividades de gestión lleva aparejada la identificación de un nuevo tipo de actor: el administrador. Se trata de un individuo sin relación con el proceso instructivo pero encargado, si así se requiere, del mantenimiento y gestión de los recursos software que asisten la instrucción. El diagrama de conceptos se completa con la representación de aquellos medios (servicios, materiales o herramientas) específicos del dominio instructivo considerado. En el caso de la enseñanza de la programación de computadores, tal y como se muestra en la figura C.4, se destacará el uso de herramientas visuales para la realización de actividades instructivas relacionadas con la construcción de programas [132].

Finalmente, y como en el caso del diccionario del dominio, se recoge un extracto del fichero XML generado para representar el modelo de conceptos del dominio de la enseñanza de la programación de computadores. El extracto recogido representa la información correspondiente a los actores y objetivos del dominio.

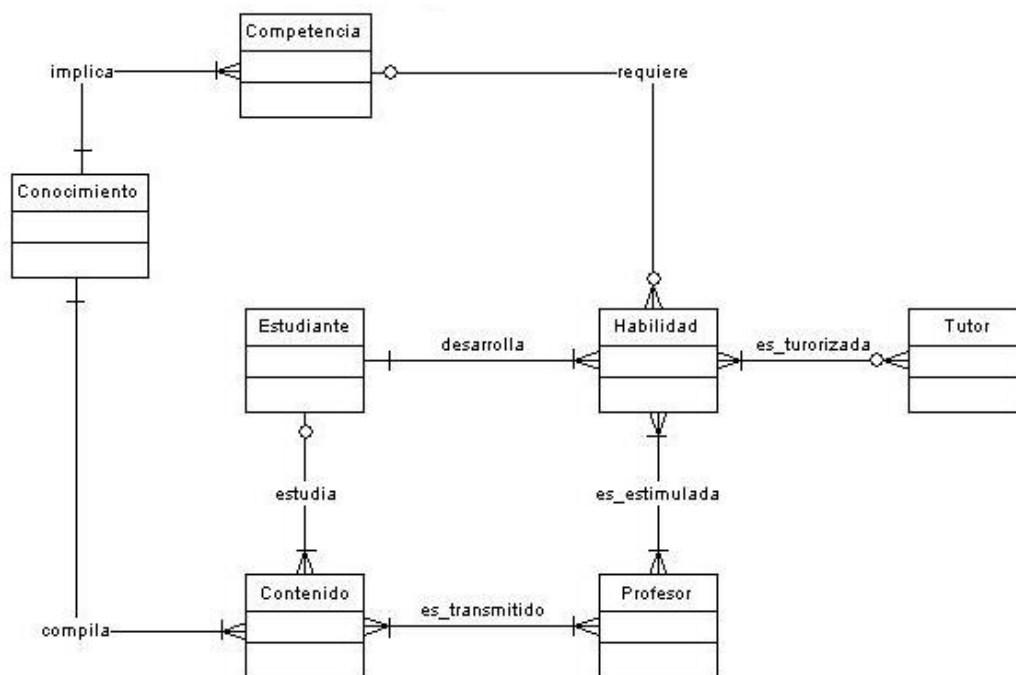


Figura C.3: Extracto del diagrama de conceptos - Objetivos

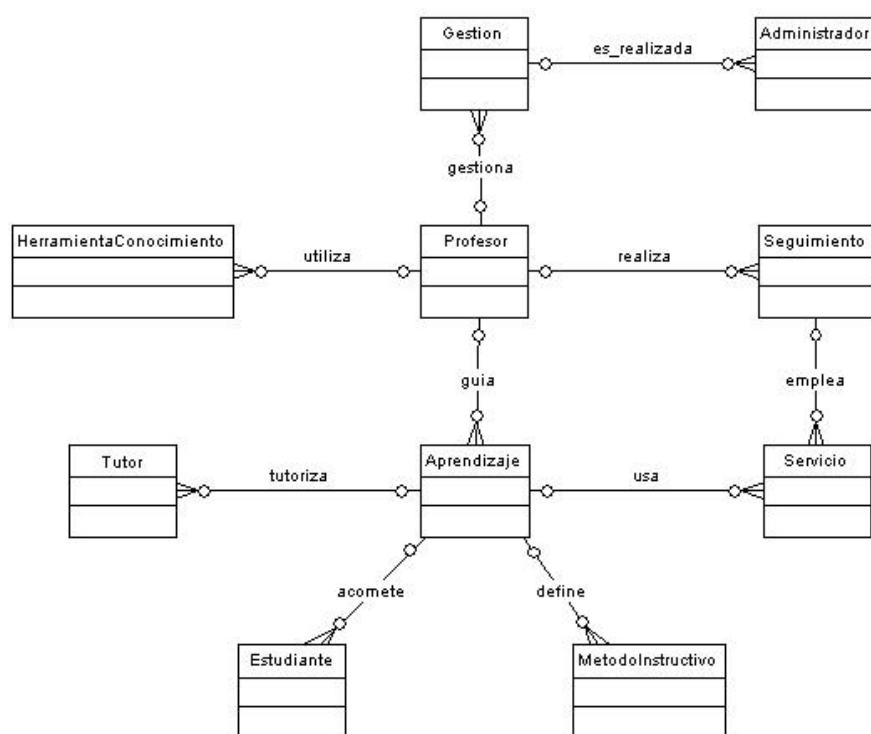


Figura C.4: Extracto del diagrama de conceptos - Tareas

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?> <diagrama-conceptos>
  <conceptos>
    <concepto>
      <nombre>Estudiante</nombre>
      <tipo>Actor</tipo>
    </concepto>
    <concepto>
      <nombre>Competencia</nombre>
      <tipo>Objetivo</tipo>
    </concepto>
    <concepto>
      <nombre>Habilidad</nombre>
      <tipo>Objetivo</tipo>
    </concepto>
  </conceptos>
  <relaciones>
    <relacion>
      <nombre>Adquiere</nombre>
      <ref-concepto-origen>Estudiante</ref-concepto-origen>
      <ref-concepto-destino>Competencia</ref-concepto-destino>
      <cardinalidad-origen>uno</cardinalidad-origen>
      <cardinalidad-destino>varios</cardinalidad-destino>
    </relacion>
    <relacion>
      <nombre>Desarrolla</nombre>
      <ref-concepto-origen>Estudiante</ref-concepto-origen>
      <ref-concepto-destino>Habilidad</ref-concepto-destino>
      <cardinalidad-origen>uno</cardinalidad-origen>
      <cardinalidad-destino>varios</cardinalidad-destino>
    </relacion>
  </relaciones>
</diagrama-conceptos>

```

## **El modelo de características**

El modelo de características permite identificar las propiedades significativas de los conceptos del dominio, plasmando tanto la variabilidad como la generalidad de los mismos. El modelo de características comprende tanto la representación de las propiedades del dominio, mediante un diagrama de características, como la recopilación de la semántica de dichas propiedades, plasmada mediante reglas de negocio.

### **El diagrama de características**

El diagrama de características extiende el diagrama de conceptos, representando las propiedades específicas de los conceptos del dominio agrupadas de acuerdo a la faceta de interés. Tal y como se expuso en el capítulo de solución, la elaboración del diagrama de características se realiza en tres etapas:

1. Se revisan cada uno de los conceptos recogidos en el diagrama de conceptos, analizando sus propiedades e identificando posibles valores de las mismas. La revisión de los conceptos se realizará en el mismo orden seguido durante la definición del diagrama de conceptos.
2. Se clasifican por facetas las características recopiladas, determinando las dependencias existentes entre las mismas. Por cada faceta, se elabora un árbol de características que tenga como raíz los conceptos del dominio y como hijos sus propiedades y posibles valores de cada propiedad.
3. Completar el diagrama de características. A partir de la información recogida en el documento de contexto, se inicia el estudio de las realidades recogidas en el diagrama preliminar. En los casos que sea necesario se extiende la descripción de los conceptos, ya sea añadiendo nuevas características o refinando las características ya representadas.

A la hora de exponer el resultado de la prueba de concepto, y con el objetivo de evitar un excesivo detalle, no se detallarán las distintas tareas de la actividad, centrándose en la explicación del diagrama obtenido por cada una de las facetas. Así mismo, a modo de ejemplo, se mostrarán extractos de aquellos diagramas de características considerados como más significativos.

Se entiende por faceta cada una de las perspectivas que intervienen en el desarrollo de un sistema. Las facetas ofrecen una visión multidimensional del dominio analizado, representando los distintos puntos de vista del problema, cada una de las cuales es responsabilidad o está asociada a un grupo de participantes en el proceso de desarrollo. En el caso del método ComBLA las características del dominio instructivo se representan de acuerdo a cuatro facetas: funcionalidad, entorno operativo, técnicas de implementación y tecnologías del dominio. A continuación, se expondrán los diagramas obtenidos por cada una de estas facetas en el caso del dominio del aprendizaje y la enseñanza de la programación de computadores.

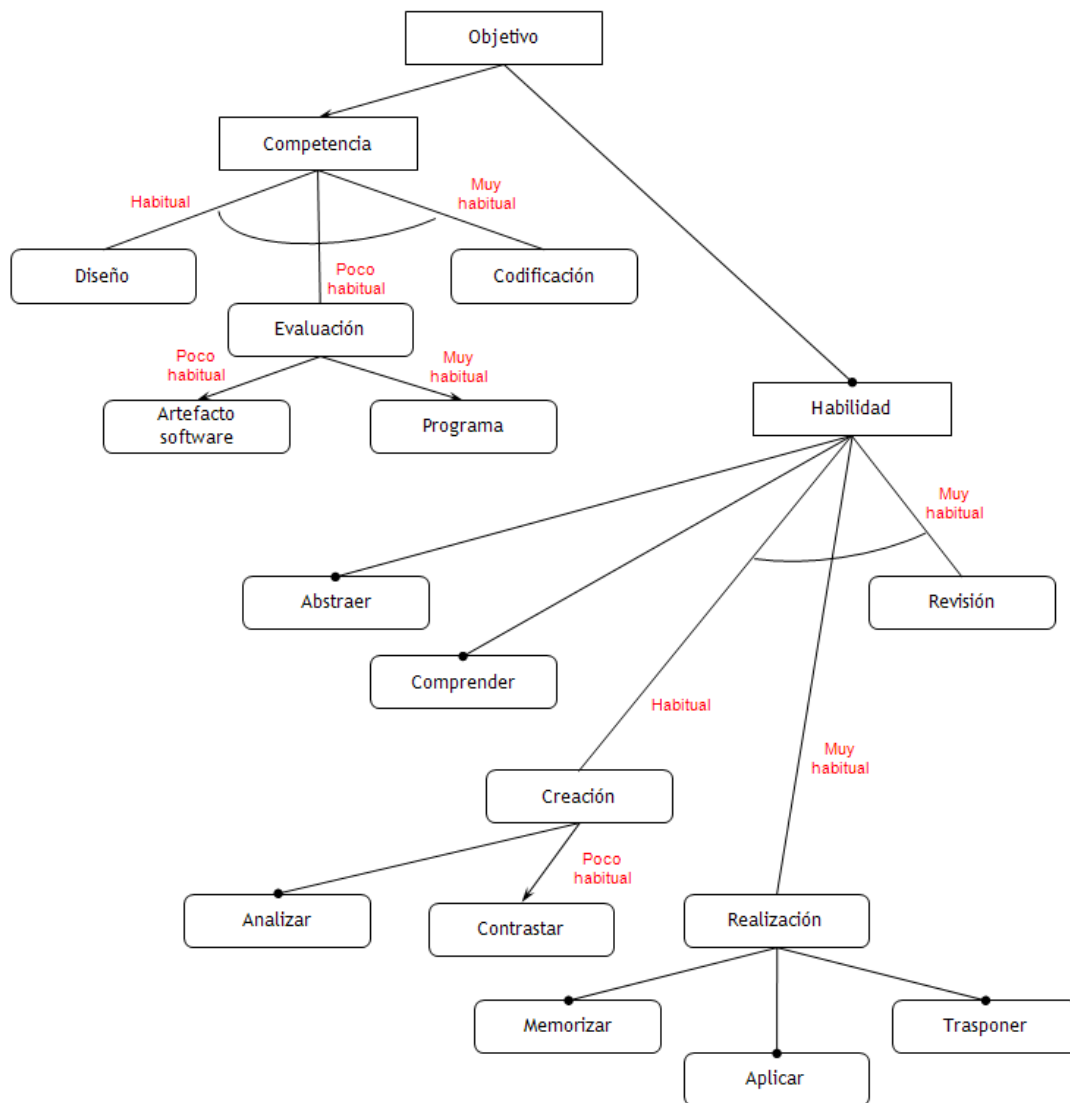


Figura C.5: Extracto del diagrama de características - Objetivos educativos



La faceta de funcionalidad agrupa las características asociadas con la utilidad última del sistema: el aprendizaje de la programación de computadores. Se trata de la faceta más importante del dominio y, en consecuencia, el diagrama de características más complejo y extenso. A modo de ejemplo, y a fin de mostrar la utilidad y valía del diagrama de características, se mostrarán extractos de tres conceptos esenciales del dominio instructivo: objetivos educativos, contenidos y actividades de aprendizaje.

- **Objetivos educativos.** Los objetivos educativos se corresponden con dos tipos de conceptos: competencias y habilidades. La elaboración de programas informáticos requiere tres tipos de competencias distintas pero compatibles entre sí: capacidad para el diseño de artefactos, capacidad para la creación o modificación de código y capacidad para la evaluación de programas. Por lo que respecta a las habilidades, dos habilidades son esenciales para la programación de computadores: la abstracción y la comprensión, motivo por el cual se representan como obligatorias. El resto de habilidades, identificadas por Paquette [122] como habilidades esenciales para la adquisición de competencias, se clasifican como alternativas según la competencia a adquirir. El diagrama de características correspondiente a los objetivos educativos se muestra en la figura C.5.
- **Contenidos.** Los contenidos del dominio de la enseñanza de la programación de computadores, tal y como se identificó durante la determinación del dominio, se corresponden con conocimientos sobre conceptos y estrategias de programación, entendiendo estas últimas como abstracciones que permite la adecuada construcción de programas. El extracto del diagrama correspondiente a los contenidos se muestra en la figura C.6.
- **Actividades de aprendizaje.** Las actividades de aprendizaje o para el aprendizaje se clasifican en tres grupos: (1) Colaboración. Actividades encaminadas a fomentar el trabajo conjunto entre estudiantes; (2) Información. Actividades orientadas al estudio de contenidos por parte de los estudiantes; y (3) Construcción. Actividades realizadas por los estudiantes para el diseño, codificación o evaluación de programas. Por cada una de estas actividades genéricas se identifican actividades más concretas o puntuales. El extracto del diagrama correspondiente a las actividades de aprendizaje se muestra en la figura C.7.

La faceta de entorno operativo incluye el conjunto de características que describen el entorno en el cual se utilizará el sistema. En el caso de los sistemas de aprendizaje asistido por ordenador, el entorno operativo abarca dos realidades:

- Entorno instructivo. El entorno instructivo hace referencia a las condiciones del contexto físico y de situación en el cual se desarrolla la instrucción. Puesto que en el caso considerado la instrucción se basará en un sistema software los factores físicos (por ejemplo, las condiciones de luminosidad o el tamaño del aula) no se tendrán en consideración, centrándose el estudio del entorno instructivo en la representación de aquellos conceptos de situación que determinan la forma de instrucción. En particular, tal y como se muestra en la figura C.8, el diagrama de características plasma los distintos tipos de alumnos que se pueden identificar en el dominio de la enseñanza de la programación [54]: neófito, aprendiz, competente, avanzado y experto. Por cada grupo se define mediante características el grado del cumplimiento de las competencias requeridas en el dominio.
- Entorno del sistema. El entorno de un sistema software se entiende como el conjunto de características que definen el lugar, la forma de ejecución y utilización de una aplicación. Con respecto al lugar, estas características se corresponden con un sistema concreto por lo que su definición queda fuera del alcance del modelo del dominio. En lo referente a la forma de ejecución y utilización se incluyen aspectos como la disponibilidad, la accesibilidad y aquellas actividades que no formando parte de la funcionalidad satisfecha por el sistema, sí determinan su operativa completa. La figura C.9 se centra en este tipo de actividades, recogiendo los tres tipos principales identificados: (1) Autoría. Tareas encargadas de la elaboración de recursos instructivos; (2) Monitorización. Conjunto de tareas orientadas a observar la labor de los estudiantes; y (3) Retroalimentación. Actividad esencial en la enseñanza de la programación [46] basada en el seguimiento por parte de los propios estudiantes del trabajo realizado durante el proceso de aprendizaje. Las actividades de retroalimentación se clasifican en actividades de información y de instrucción, según informen sobre los errores cometidos o promuevan nuevas formas de aprendizaje.



Figura C.6: Extracto del diagrama de características - Contenidos

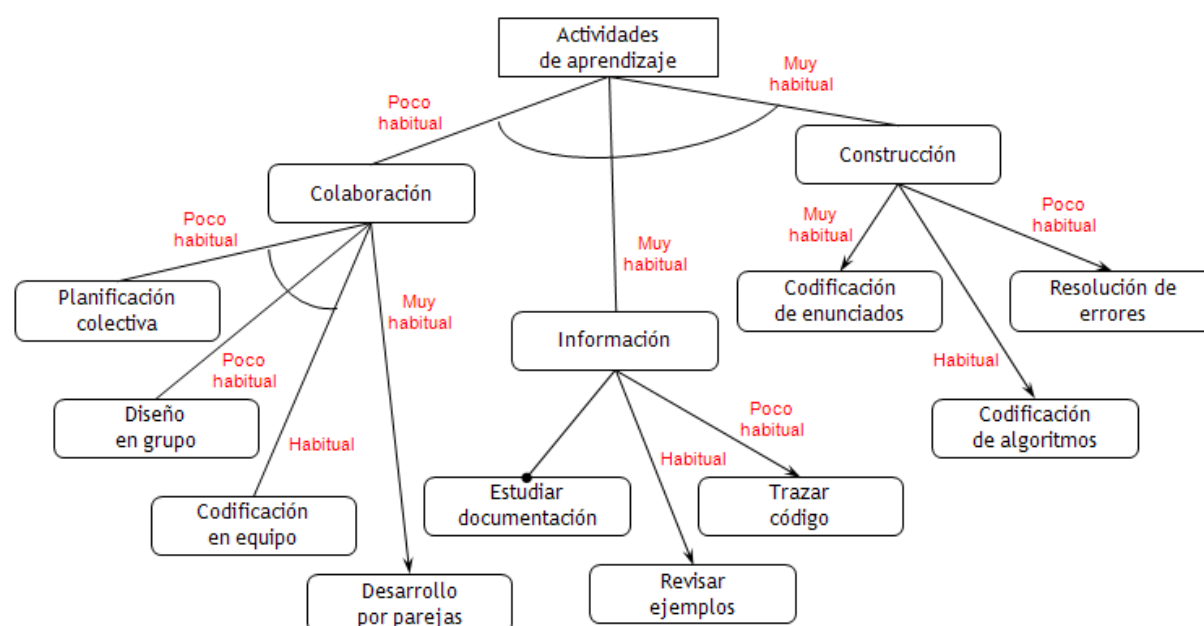


Figura C.7: Extracto del diagrama de características - Actividades de aprendizaje

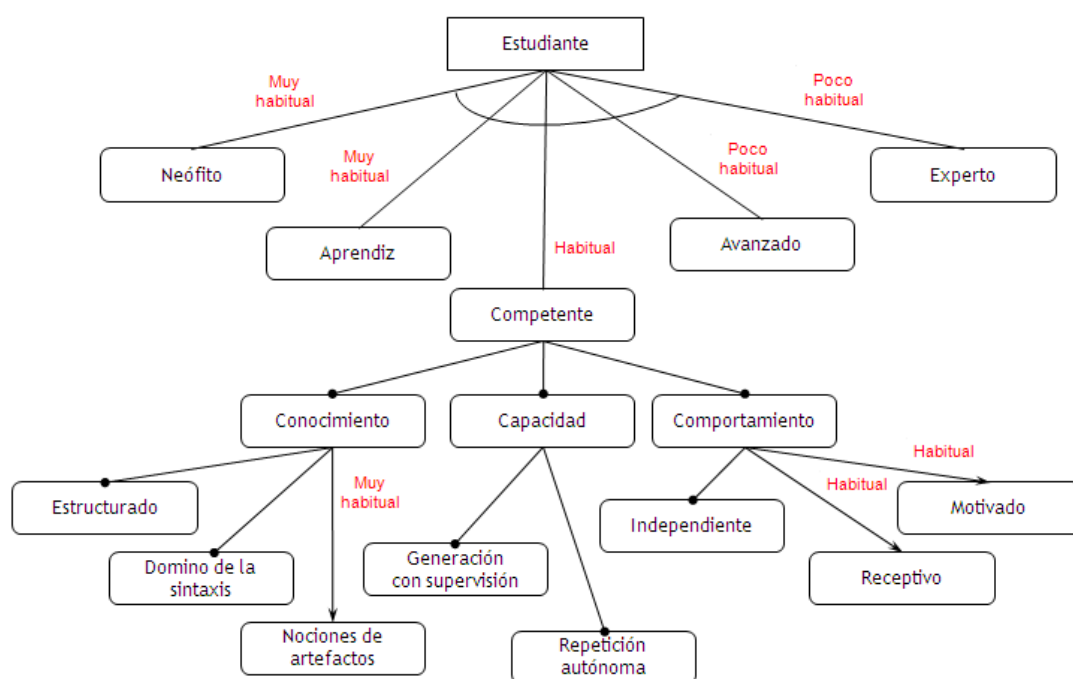


Figura C.8: Extracto del diagrama de características - Estudiantes

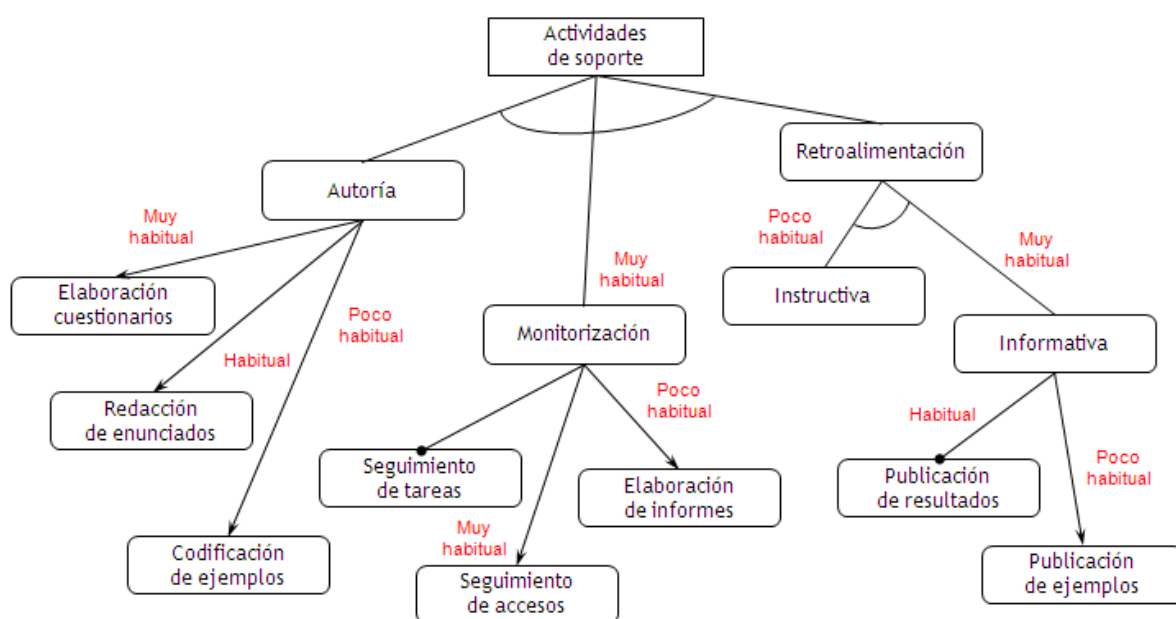


Figura C.9: Extracto del diagrama de características - Actividades de soporte

La faceta de tecnologías del dominio representa aquellas características que determinan la forma de instrucción del dominio considerado. El término tecnología hace referencia tanto a un conjunto de instrumentos o dispositivos utilizados en un área determinada, como al conjunto de teorías y de técnicas que permiten el aprovechamiento práctico del conocimiento científico. Tomando como referencia esta segunda acepción, las tecnologías del dominio comprenden el conjunto de métodos, estrategias instructivas y formas de evaluación de uso común en el dominio de la enseñanza de la programación de computadores.

En lo que respecta al método instructivo, la enseñanza de la programación alcanza sus mejores resultados mediante la creación de programas que resuelvan problemas concretos [132]. Se trata, por tanto, de poner en práctica los contenidos estudiados como forma de afianzar su conocimiento, desarrollar las habilidades necesarias y adquirir las competencias establecidas. Tal y como se muestra en la figura C.10, esta estrategia instructiva se corresponde con el aprendizaje basado en el descubrimiento. Así mismo, y como medio para estimular habilidades como la observación, la comprensión y la transposición es habitual el empleo de herramientas de visualización de software [132]. Las herramientas de visualización se pueden clasificar en herramientas para la visualización del comportamiento, la evolución o la estructura interno del programa [45]; en cualquiera de los tres casos, el tipo de herramientas utilizadas condiciona el tipo de conocimientos adquiridos, las actividades de aprendizaje a realizar y, en consecuencia, la forma de aprendizaje.

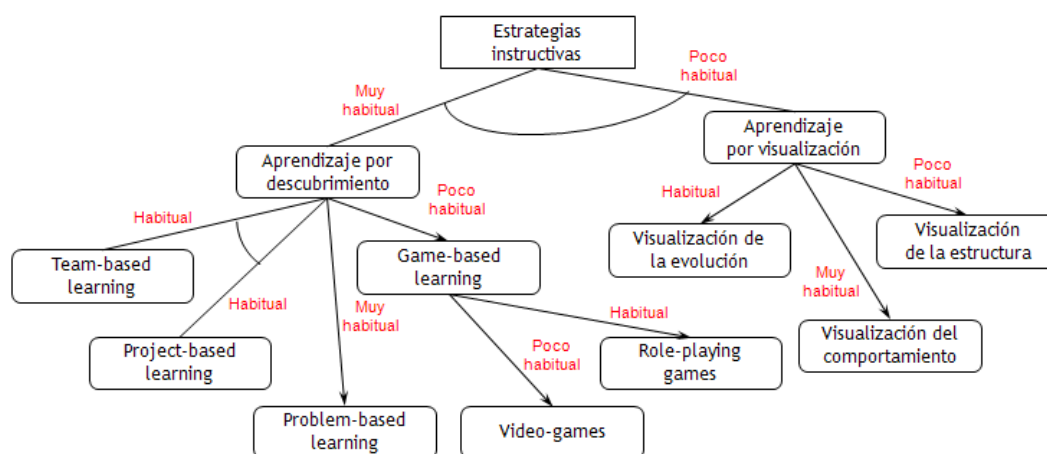


Figura C.10: Extracto del diagrama de características - Estrategias

Por último, la faceta de técnicas de implementación agrupa información referida a la forma en la cual se implementan las operativas del dominio. Se incluyen en este grupo características referidas a plataformas, servicios y herramientas utilizados por los sistemas del dominio. Entre los conceptos caracterizados en la faceta de técnicas de implementación la identificación y representación de servicios tiene una especial relevancia. Por servicio se entiende una acción ejecutada de manera aislada e independiente [38]. Siguiendo la clasificación propuesta por «ELF-framework» [152] los servicios se agrupan en servicios comunes, servicios utilizados durante el proceso instructivo pero aplicables en otros contextos o situaciones, y servicios instructivos, servicios concebidos y aplicados únicamente en el contexto instructivo. A su vez, los servicios instructivos se dividen en servicios de aprendizaje, evaluación y gestión según se empleen, respectivamente, como parte de alguna actividad de aprendizaje, como medio para evaluar el progreso de los alumnos, o como mecanismo para gestionar (secuenciar, monitorizar, validar, etc.) las actividades instructivas realizadas tanto por profesores como por estudiantes.

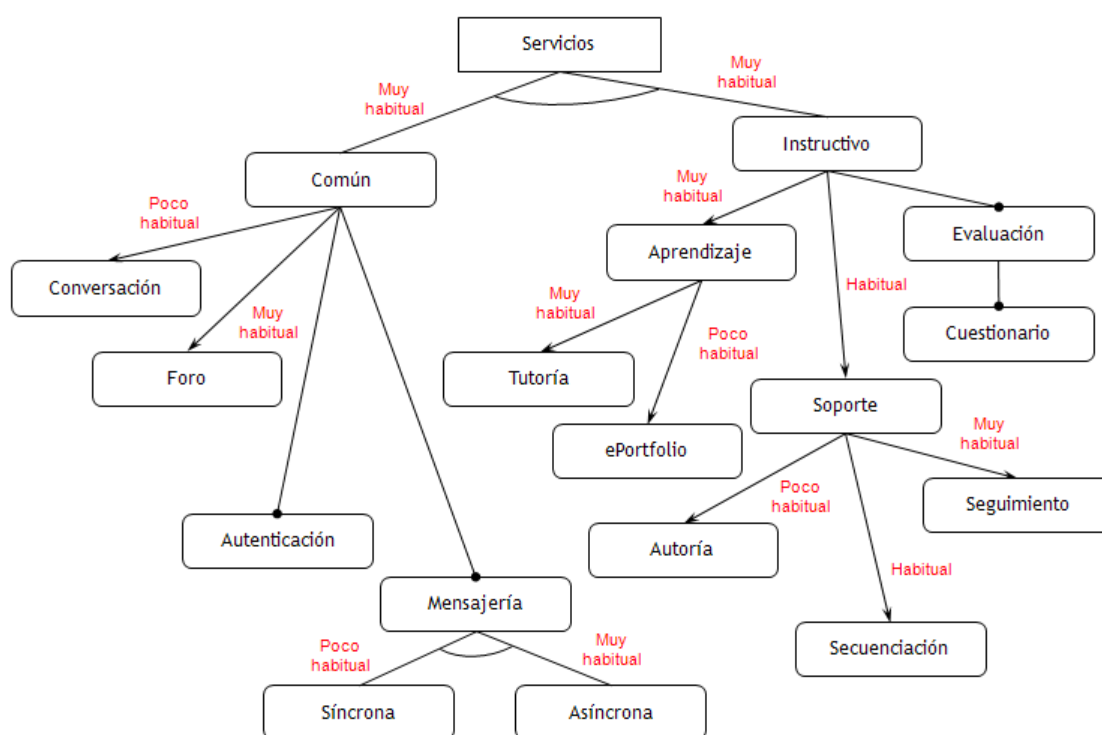


Figura C.11: Extracto del diagrama de características - Servicios

## Las reglas de negocio

Los extractos del diagrama de características recopilados en el apartado anterior muestran una de las ventajas de este tipo de artefacto software: la existencia de una estructura jerárquica que facilita la clasificación y ordenación de las características. Sin embargo, esta misma estructura resulta poco adecuada a la hora de establecer restricciones entre características: por ejemplo, la relación existente entre habilidades y competencias, o entre tipos de competencias y contenidos. El resultado es la imposibilidad de establecer relaciones entre características de conceptos distintos, impidiendo la adecuada definición de la semántica del dominio. A fin de solventar esta limitación, sin perder las ventajas propias de los diagramas de características, se propone la definición de reglas de negocio. Las reglas de negocio definen una serie de criterios de composición que amplían el conocimiento definido por las relaciones de los diagramas de características.

La definición de las reglas de negocio se realiza durante la tarea de elaboración del diagrama de características. En aquellos casos en que existan dependencias o restricciones entre características que no hayan podido expresarse mediante la estructura arborescente del diagrama de características, se definirá una regla de negocio. La tarea final del modelado de características se encarga de recopilar e inventariar todas estas reglas de negocio. A continuación, se recogen algunas reglas de negocio propias del dominio de la enseñanza de la programación expresadas en formato XML. Por cada regla se indican las características implicadas, la relación entre las mismas y la explicación de la regla.

```
<reglas-negocio>
  <regla>
    <referencia>Competencia - codificación</referencia>
    <caracteristicas>
      <caracteristica>Habilidad - Memorizar</caracteristica>
      <caracteristica>Habilidad - Aplicar</caracteristica>
      <caracteristica>Habilidad - Transponer</caracteristica>
    </caracteristicas>
    <norma>inclusivo</norma>
  </regla>
  <regla>
    <referencia>Estructura de datos</referencia>
    <caracteristicas>
```

```

        <caracteristica>Diseño de algoritmo</caracteristica>
        <caracteristica>Tipos de datos</caracteristica>
        <caracteristica>Estructuras de control</caracteristica>
    </caracteristicas>
    <norma>inclusivo</norma>
</regla>
<regla>
    <referencia>Revisar ejemplos</referencia>
    <caracteristicas>
        <caracteristica>Publicación ejemplos</caracteristica>
    </caracteristicas>
    <norma>inclusivo</norma>
    <condicion>
        <operador-concatenacion>
            <operador>and-logico</operador>
            <operando-uno>
                <operador-restriccion>
                    <caracteristica>Estudiante</caracteristica>
                    <valor>Novel</valor>
                </operador-restriccion>
            </operando-uno>
            <operando-dos>
                <operador-restriccion>
                    <caracteristica>Estudiante</caracteristica>
                    <valor>Aprendiz</valor>
                </operador-restriccion>
            </operando-dos>
        </operador-concatenacion>
    </condicion>
</regla>
<regla>
    <referencia>Novel</referencia>
    <caracteristicas>
        <caracteristica>Project-based learning</caracteristica>
        <caracteristica>Team-based learning</caracteristica>
    </caracteristicas>
    <norma>exclusivo</norma>
</regla>
</reglas-negocio>

```



## Un curso de iniciación a la programación

La segunda etapa del método ComBLA es responsable del análisis de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador. La etapa de análisis del sistema se encarga de establecer un modelo que especifique las necesidades y condiciones del sistema a elaborar. Para ello, y con el objetivo de mejorar el proceso de análisis, se tomará como referencia el modelo del dominio definido en la etapa previa del método.

El análisis del sistema se acomete como respuesta a la necesidad de elaborar un sistema para el aprendizaje que resuelva un escenario instructivo específico. El escenario considerado debe pertenecer a un dominio instructivo conocido, entendiendo como tal un dominio ya estudiado y modelizado; en caso contrario, y como paso previo a la definición del sistema, será necesario abordar el correspondiente análisis del dominio. La presente prueba de concepto describirá el proceso de análisis correspondiente a un escenario instructivo del dominio del aprendizaje y la enseñanza de la programación: un curso de iniciación a la programación. Los cursos de iniciación a la programación se significan por su elevada tasa de suspensos, consecuencia de la dificultad de instruir a alumnos noveles en una disciplina como la programación de computadores, caracterizada por sus contenidos heterogéneos y por la necesidad de incitar determinadas facultades o habilidades cognitivas. Este tipo de cursos requieren de un diseño instructivo certero, en el cual la experiencia y el conocimiento del dominio adquiere especial relevancia. La suma de estos factores convierten a los cursos de iniciación a la programación en un buen ejemplo de aplicación del método ComBLA.

La segunda etapa del proceso de análisis se divide en cuatro actividades, las cuales se agrupan en dos labores principales: la definición del alcance del sistema y la especificación de las necesidades y condiciones del sistema. La definición del alcance del sistema se encarga de establecer las condiciones del problema a resolver. En cuanto a la labor de especificación, se realizan las tareas necesarias para, a partir de la descripción del dominio instructivo, elaborar un modelo de sistema que represente tanto el proceso instructivo a implementar como el comportamiento esperado del sistema. De igual manera que en la sección anterior, se mostrarán ejemplos parciales de los productos generados por las distintas actividades del proceso de análisis del sistema.

## El alcance del sistema

La primera actividad del proceso de análisis del sistema establece el tipo de sistema de aprendizaje asistido por ordenador que se desea elaborar. Para ello, se delimita el escenario instructivo de interés y se determinan las condiciones de utilización del sistema. La definición del escenario instructivo toma en consideración:

- Necesidades instructivas. Se establece el tipo de disciplina implicada y los objetivos formativos perseguidos.
- Condiciones instructivas. Se identifican aquellas restricciones y condiciones relacionadas con el contexto instructivo en cual se desarrollará el proceso de aprendizaje.

Por lo que respecta al sistema software que soportará el escenario instructivo, se identifican aquellos requisitos referidos a la forma de utilización del sistema y el comportamiento esperado del mismo. A continuación, se referirán agrupadas por perspectivas las necesidades y requisitos del curso de iniciación de la programación objeto de la prueba de concepto. El resultado de la actividad de definición del alcance del sistema será un documento redactado en lenguaje natural que recoja el conjunto de condiciones del sistema.

### Necesidades instructivas

De acuerdo con la terminología habitual en el campo del diseño de la instrucción, se entiende por *necesidad instructiva* un objetivo formativo que debe ser satisfecho en un escenario instructivo determinado [117, 146]. Un objetivo formativo señala un conocimiento o habilidad reconocible en un alumno una vez finalizado el escenario instructivo considerado. El conjunto de necesidades instructivas establecen el tipo de formación que se desea realizar y, en consecuencia, son el factor esencial en la definición del proceso instructivo soportado por el sistema. En el caso del método ComBLA, y motivado por su forma de trabajo, la definición de las necesidades instructivas estará dirigida a identificar el tipo de disciplina impartida en el curso. El motivo de esta condición es la necesidad de conocer desde el inicio del proceso el dominio instructivo en el cual se encuadra el sistema para la instrucción a elaborar.

El propósito del curso se enuncia como *aprender y poner en práctica los fundamentos de la programación orientada a objetos*. El propósito del curso se refina mediante la definición de una serie de objetivos formativos que establecen el comportamiento esperado en los alumnos de la asignatura una vez cursada la misma. En el ejemplo considerado, los objetivos instructivos vinieron dados tanto por las directrices establecidas en el programa oficial de la asignatura como por los requisitos incorporados por los responsables docentes de la misma.

1. Conocer los elementos básicos de un lenguaje orientado a objetos.
2. Conocer los conceptos teóricos que caracterizan a la orientación a objetos.
3. Desarrollar programas según la sintaxis del lenguaje utilizado.
4. Adaptar un fragmento de código de acuerdo a unas nuevas especificaciones establecidas por el usuario.
5. Implementar programas sencillos mediante el lenguaje de programación Java.
6. Resolver problemas y diseñar algoritmos que cumplan unos requisitos.
7. Predecir los resultados de un programa conociendo los datos de entrada.
8. Localizar los errores de un programa según la sintaxis del lenguaje utilizado.
9. Modificar programas sencillos en función de unas nuevas necesidades.
10. Documentar adecuadamente un programa.
11. Estudiar el enunciado de un problema y resolverlo mediante la elaboración de un diseño basado en los principios de la orientación a objetos.
12. Aplicar un lenguaje orientado a objetos en la implementación de un diseño en notación UML.
13. Diseñar soluciones orientadas a objetos utilizando un lenguaje de modelado.

Una vez establecidos los objetivos formativos el paso siguiente será refinarlos y ordenarlos a fin de establecer el conjunto de necesidades instructivas que determinan tanto los contenidos del curso como la forma de instrucción empleada en el mismo.

El proceso de refinado implica eliminar objetivos duplicados, combinar objetivos similares y precisar los objetivos incompletos:

- Eliminar. Los objetivos cuatro y nueve hacen referencia a un mismo comportamiento: la capacidad de los alumnos para, a partir de un programa codificado en un lenguaje de programación específico, realizar modificaciones que permitan satisfacer un conjunto de nuevas especificaciones. Se elimina el objetivo número nueve.
- Combinar. Se combinan objetivos que, enunciados de manera distinta, hacen referencia a un comportamiento común: (1) Se combinan los objetivos uno y dos al hacer referencia ambos al conocimiento teórico de los principios de la orientación a objetos; (2) Los objetivos tres, cinco y doce hacen referencia a la capacidad de los alumnos para codificar programas y pequeñas aplicaciones en lenguaje Java; (3) Los objetivos cuatro, siete y ocho se combinan en un únicas necesidad que exprese la capacidad de los alumnos de analizar fragmentos de código; y (4) Los objetivos seis, once y trece se enuncian como la capacidad de los alumnos de diseñar soluciones expresadas mediante un lenguaje de modelado.
- Precisar. Se especifica el objetivo diez a fin de aclarar que se entiende por «documentar adecuadamente» y la forma de realizar dicha documentación.

El resultado del proceso de refinado y ordenación será la siguiente lista de objetivos formativos:

1. Conocer los fundamentos teóricos del paradigma orientado a objetos.
2. Diseñar soluciones orientadas a objetos utilizando un lenguaje de modelado.
3. Revisar, interpretar y modificar fragmentos de código programados mediante el lenguaje de programación Java.
4. Implementar mediante el lenguaje de programación Java diseños sencillos expresados mediante el lenguaje de modelado UML.
5. Documentar un programa a fin de poder comprender su funcionamiento sin necesidad de revisar el código.

Por último, y como paso previo al establecimiento de la lista final de necesidades instructivas, se verifican los objetivos recopilados a fin de identificar discrepancias entre los mismos. Fruto de esta labor se decidió precisar el objetivo uno, y ampliar la definición del número dos para que existiera coincidencia con el número cuatro:

1. Conocer los fundamentos teóricos del paradigma orientado a objetos: encapsulación, herencia y polimorfismo.
2. Diseñar soluciones orientadas a objetos expresadas mediante el lenguaje de modelado UML.
3. Revisar, interpretar y modificar fragmentos de código programados mediante el lenguaje de programación Java.
4. Implementar mediante el lenguaje de programación Java diseños sencillos expresados mediante el lenguaje de modelado UML.
5. Documentar un programa a fin de comprender su funcionamiento sin necesidad de revisar el código.

En el caso de la prueba de concepto, la disciplina de interés vino prefijada de antemano; de no ser así, el conjunto de necesidades instructivas permitiría establecer la disciplina sobre la cual versa el curso analizado.

### **Condiciones instructivas**

Las condiciones instructivas establecen las características del contexto instructivo en el cual se desarrollará el proceso de aprendizaje. El análisis del contexto instructivo tiene por objeto conocer todos aquellos factores, tanto administrativos como ambientales, que condicionan la forma de instrucción. En particular, y tomando como referencia los trabajos de distintos autores [148, 149], la definición del contexto instructivo debe centrarse en tres tipos de realidades: las características de los alumnos, la organización del curso y las condiciones ambientales en las cuales se desarrolla el mismo. En el caso de los sistemas de aprendizaje asistido por ordenador, los aspectos ambientales se restringen a la forma de utilización del sistema, motivo por el cual su análisis se abordará durante la definición de los requisitos de desempeño del sistema.

El primer grupo de condiciones instructivas hace referencia a las características de los alumnos; esto es, conocimientos, habilidades y aptitudes generales de los potenciales alumnos del curso. En el caso del curso de introducción a la programación analizado se puede establecer un patrón de alumno caracterizado por:

1. Alumnos de educación superior con una formación previa homogénea: superado el bachillerato y la prueba de acceso a la Universidad.
2. Conocimientos escasos o nulos de la materia impartida.
3. Conocimientos previos de matemáticas, nociones de lógica y algorítmica.
4. Escasa experiencia cursando cursos asistidos por ordenador.
5. Alumnos con una media de edad de dieciocho años sin obligaciones laborales.
6. Dedicación al curso conforme al plan de estudios de la titulación en la cual se imparte la misma.

En cuanto a la organización del curso, y tomando como referencia el plan de estudios de la titulación correspondiente, se pueden identificar la siguiente lista de condiciones instructivas:

1. El curso tendrá una duración de quince semanas lectivas.
2. Los alumnos deberán dedicar una media de doce horas semanales para el correcto aprovechamiento del curso.
3. El curso debe comprender tanto clases teóricas como sesiones de laboratorio.
4. El aprovechamiento del curso se medirá mediante la evaluación continua de ejercicios y trabajos prácticos en los cuales se demuestre la capacidad del alumno para aplicar los conocimientos y habilidades adquiridas.

La última condición, la obligación de demostrar de manera práctica los conocimientos adquiridos en teoría, establece la pauta sobre el método de instrucción a seguir en el curso. La explicación de este factor se detallará en el apartado de configuración del sistema.

### Requisitos operativos

Los requisitos operativos establecen aquellos comportamientos del sistema que, sin ser específicos de la labor de instrucción, permiten soportar el proceso de aprendizaje. Los requisitos operativos extienden las necesidades y condiciones instructivas a fin de disponer de una definición completa de la funcionalidad del sistema. En el ejemplo considerado, se consideran como requisitos operativos los siguientes enunciados:

1. El sistema debe disponer de mecanismos de autenticación que imposibiliten el acceso a usuario no autorizados.
2. Los usuarios del sistema podrán gestionar sus datos personales, información de contacto y de acceso al sistema.
3. El sistema debe soportar distintos roles de usuarios, diferenciando entre alumnos, profesores y administradores del sistema.
4. El sistema debe disponer de mecanismos de monitorización que permitan conocer quién ha accedido al sistema y que tareas ha realizado.
5. La apariencia del sistema podrá modificarse de acuerdo al perfil y preferencias del usuario.
6. El sistema dispondrá de mecanismos para adjuntar ficheros.
7. El sistema dispondrá de mecanismos para la realización y corrección automática de cuestionarios.
8. El envío a los alumnos de notificaciones y avisos se podrá realizar a través del sistema y mediante el envío automático de correos electrónicos.
9. El sistema dispondrá de mecanismos para la publicación de resultados.

Los requisitos operativos recopilados anticipan la necesidad de un sistema de gestión de contenidos centrado en la administración de contenidos creados por distintas fuentes. Este tipo de situaciones son habituales en escenarios como el contemplado en la prueba de concepto: la adaptación de cursos a entornos virtuales.

### Requisitos de desempeño

El modelo MRK [117] propone el estudio del contexto instructivo como parte del proceso de análisis de un sistema para la instrucción. El análisis del contexto implica el estudio de las características de los alumnos y de aquellas condiciones físicas que influyen en el proceso instructivo. Así, por ejemplo, el modelo MRK propone analizar los medios materiales disponibles, los recursos técnicos existentes o las condiciones ambientales esperadas. De manera similar, el método ComBLA propone el estudio del entorno en el cual se desarrollará el curso analizado; sin embargo, y puesto que en este caso se trata de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador, la definición del entorno se limita a la identificación de los requisitos de desempeño del sistema. Los requisitos de desempeño recogen todas aquellas condiciones de uso del sistema que, sin estar relacionados de manera directa con el proceso instructivo, condicionan la forma de utilización y gestión del mismo. En el caso del ejemplo considerado se identificaron los siguientes requisitos:

1. El sistema será accesible a través de Internet.
2. El sistema deberá estar disponible durante veinticuatro horas, tanto días festivos como laborables, durante todo el periodo de realización del curso.
3. El sistema deberá ser capaz de soportar un número de accesos concurrentes igual al número de alumnos matriculados.
4. El acceso y uso del sistema se realizará siempre mediante un protocolo de conexión seguro.
5. El sistema no permitirá la conexión de un mismo usuario desde ubicaciones distintas ni de varios usuarios desde una misma ubicación.
6. Se establecerá un número máximo de intentos de acceso al sistema; en caso de superar dicho número se bloqueará al usuario el acceso al sistema.
7. El sistema dispondrá de herramientas de *backup* que permitan recuperar el estado del curso en caso de errores en el sistema de persistencia.

Los requisitos identificados se centran en aspectos de disponibilidad y seguridad. En este último caso, se establecen una serie de condiciones (requisitos cuatro y cinco) orientados a dificultar la realización fraudulenta de actividades de evaluación.



## La definición del sistema

El resultado final de la fase de análisis debe ser una definición lo más completa posible de las características el sistema que se desea desarrollar. De acuerdo con los principios del método ComBLA, la definición del sistema se basa en el modelo de dominio elaborado durante la fase de análisis del dominio instructivo. De esta manera, la definición del sistema se divide en dos tareas principales:

1. La configuración del sistema. La actividad de configuración del sistema se encarga de establecer el conjunto mínimo de características que definen el sistema a desarrollar. El conjunto de características se corresponde con una de las posibles configuraciones del dominio instructivo al cual pertenece el sistema.
2. El modelado del sistema. La actividad contempla una serie de tareas encaminadas a obtener un modelo de sistema que represente con precisión las necesidades y condiciones del sistema a desarrollar. El modelo de sistema describe tanto el proceso instructivo a diseñar como el sistema software encargado de asistirlo.

La división en estas dos actividades permite disponer, en primer lugar, de un conjunto certero de características que asegura la validez del problema identificado. A partir de esta configuración, se estudia en detalle el sistema ofreciendo la especificación de sus distintas perspectivas. El resultado de la definición del sistema será una serie de diagramas que ofrezca una visión anticipada del sistema a desarrollar.

## La configuración del sistema

La actividad de configuración del sistema ofrece un modelo preliminar que identifica los aspectos más significativos del sistema de aprendizaje asistido por ordenador a desarrollar. La configuración del sistema debe corresponder con una de las posibles configuraciones establecidas por el modelo de dominio, lo que permite disponer de un punto de partida confiable. La actividad de configuración del sistema contempla tareas dirigidas a establecer dos tipos de realidades: el proceso instructivo y el sistema software que lo asistirá.

### El proceso instructivo

El primer paso de la actividad de configuración del sistema se encarga de revisar las necesidades y condiciones instructivas establecidas durante la actividad de alcance del sistema como forma de establecer el proceso instructivo soportado por el mismo. El proceso instructivo abarca el conjunto de características que determinan la forma en la cual se desarrollará la instrucción por parte de los profesores y tutores. De acuerdo con la definición del método, la definición del proceso instructivo se inicia con el estudio del entorno instructivo, el cual a su vez viene condicionado por las características recopiladas en la faceta de *entorno operativo*. En particular, el concepto más relevante del entorno instructivo tiene que ver con el estudiante y su perfil. El hecho de iniciar la configuración del sistema por la definición del perfil del alumno se explica porque las características del estudiante restringen normalmente el tipo de actividades, conocimientos y objetivos a alcanzar durante el curso, lo que invita a su definición como filtro de las posibles configuraciones del dominio. De acuerdo con las condiciones instructivas definidas, los alumnos del curso se definen por su perfil homogéneo y sus escasos conocimientos en la materia. La consulta del diagrama de características del dominio nos muestra que nos encontramos ante estudiantes clasificados como neófitos o aprendices, caracterizados por sus escasos conocimientos sobre la materia, su escasa capacidad para el trabajo autónomo, y su comportamiento generalmente pasivo y poco receptivo a nuevas propuestas. En este caso, el diagrama de características resulta una herramienta útil para conocer con mayor precisión el tipo de problema al cual nos enfrentamos y anticipar posibles soluciones.

Una vez establecido el perfil del alumno, se procede a establecer los objetivos educativos, los contenidos y las actividades instructivas a desarrollar, todos ellos conceptos recogidos en la faceta de *funcionalidad* del diagrama de características. A continuación, se desglosará la definición de estos factores:

- **Objetivos.** El primer factor a estudiar tiene que ver con los objetivos educativos que se pretenden alcanzar. De acuerdo con el diagrama de conceptos del dominio, la definición de los objetivos educativos implica la elección del tipo de competencias y de habilidades a desarrollar durante el curso. Las necesidades instructivas del curso hacen referencia a la capacidad de los alumnos para «diseñar soluciones» e «implementar y

modificar fragmentos de código». Por tanto, el curso pretende desarrollar las competencias de diseño y codificación; las cuales a su vez, tal y como reflejan las reglas de negocio del modelo de características, están relacionadas con las habilidades de revisión y realización. La habilidad de realización obligará a diseñar tareas instructivas que permitan la memorización de la sintaxis del lenguaje, la transposición de los conceptos memorizados y la aplicación de los mismos en situaciones similares pero diferentes a las utilizadas como referencia.

- **Contenidos.** La existencia de necesidades instructivas referidas a «conocer los fundamentos del paradigma orientado a objetos» y a «programar utilizando el lenguaje de programación Java» obliga a impartir tanto conceptos de programación como estrategias de programación. En lo que respecta a los conceptos de programación, por la definición del diagrama de características, será necesario enseñar conocimientos sobre tipos de datos, sentencias de control, etc. En cuanto a las estrategias de programación, estas se basarán en el estudio de los principios del paradigma orientado a objetos. Asimismo, dado al peso elevado de la característica correspondiente, y a pesar de no estar incluido en las necesidades instructivas iniciales, se añade como contenidos del curso el estudio sobre diseño de algoritmos.
- **Actividades instructivas.** Por último, se determina el tipo de actividades instructivas que deberán ser incluidas en el diseño del curso. Por un lado, las necesidades instructivas del curso recomendaban la inclusión de actividades dirigidas a la codificación de enunciados; por otro lado, el hecho de desear fomentar las habilidades de revisión y realización, y tal y como se recoge en las reglas de negocio del dominio, obligará a incluir actividades instructivas basadas en la revisión de ejemplos y el estudio de documentación. Por último, y a fin de fomentar la capacidad de los alumnos para trabajar en grupo, se propuso la inclusión de actividades instructivas de colaboración. Aunque inicialmente se planteó la posibilidad de acometer diseños en grupo, el perfil de los alumnos, y la existencia de reglas de negocio que lo desaconsejaba, llevaron a desechar esa opción y optar por el desarrollo por parejas.

Una vez definida la configuración básica del sistema, ver figuras C.12 y C.13, se procede a su refinamiento con la inclusión de características recogidas en las necesidades y condiciones instructivas del sistema, pero no contempladas en el modelo de dominio. Entre las mismas, se encuentra el empleo de técnicas de evaluación continua, el aprendizaje de lenguajes de modelado o la documentación de código. La figura C.14 muestra un extracto de la configuración del proceso instructivo del sistema una vez añadidas las características adicionales. La inclusión de estas características permite matizar el sistema a desarrollar pero sin disponer de una validación de las mismas por parte del modelo de dominio. Por último, se consultará la faceta de *tecnologías del dominio* para, a partir de las características ya seleccionadas, identificar las estrategias instructivas más adecuadas para el desarrollo del curso. En el caso considerado, el perfil del alumno y el tipo de actividades instructivas recomienda el aprendizaje basado en problemas (PBL, *Problem-Based Learning*). Como se expuesto en el capítulo de solución de la presente memoria, la definición de la estrategia instructiva más adecuada es labor del diseñador instructivo, por lo que queda fuera del ámbito del proceso de análisis; sin embargo, la utilización del modelo de dominio permite la realización de recomendaciones basadas en el conocimiento común del dominio.

La elaboración de esta prueba de concepto revela alguna de las ventajas aportadas por la utilización de un modelo de dominio durante el análisis de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador. La existencia de un modelo de dominio permite tener un mejor conocimiento del problema, permitiendo anticipar a la fase de análisis la posible toma de soluciones. En el caso considerado, este hecho se comprueba en la existencia de un diagrama de características del estudiante que permite conocer en detalle las cualidades del alumno. De igual manera, las reglas de negocio establecen restricciones que impiden la toma de decisiones erróneas o poco recomendables. Un ejemplo de esta situación sería la elección de actividades de desarrollo en parejas frente a otras alternativas como el diseño en grupo o la codificación en equipo, todas ellas opciones adecuadas para fomentar el trabajo en equipo pero poco recomendables en un curso de iniciación a la programación. Por último, el modelo de dominio ofrece recomendaciones sobre la estructura del curso. Así ha podido comprobarse no sólo en la propuesta de utilizar el aprendizaje basado en problemas, sino también en la inclusión del diseño de algoritmos entre los contenidos del curso.

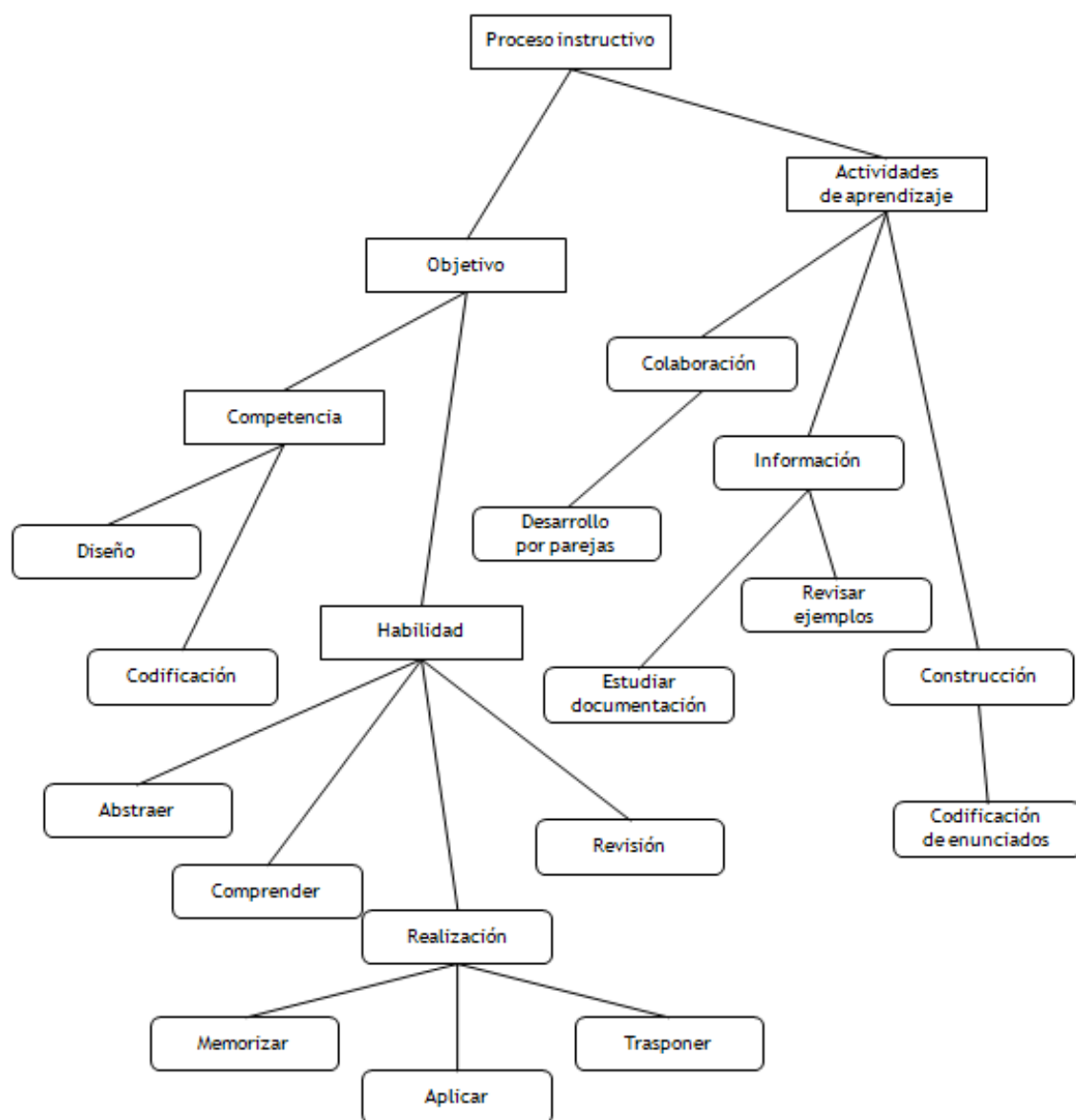


Figura C.12: Extracto de la configuración del sistema - Proceso instructivo

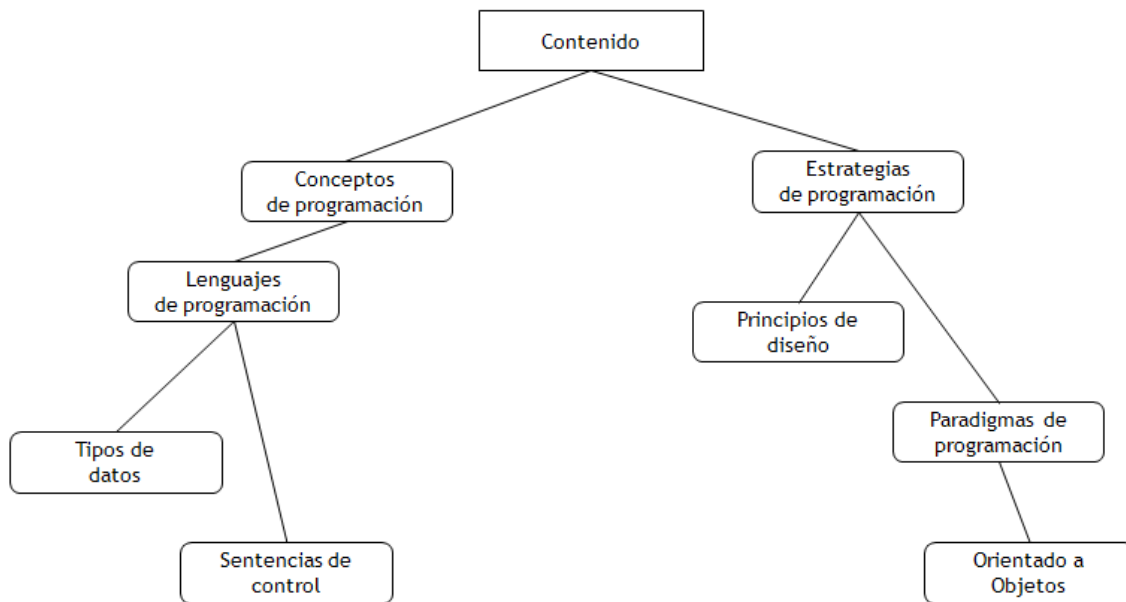


Figura C.13: Extracto de la configuración del sistema - Contenidos

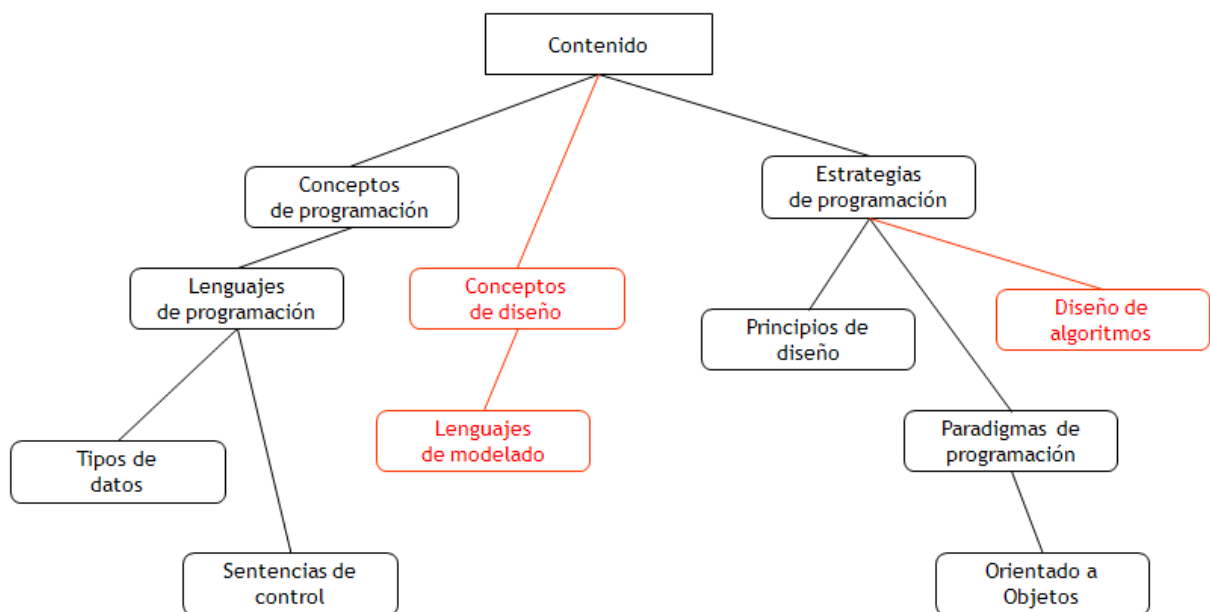


Figura C.14: Extracto de la configuración del sistema - Contenidos refinados

## El sistema software

El segundo paso de la actividad de configuración del sistema se centra en la identificación de las características del sistema software que asistirá el proceso instructivo. De acuerdo con la definición del método ComBLA, la elección de este tipo de características respetará la siguiente secuencia de tareas:

- Actividades de soporte. Tomando como referencia los requisitos operativos del sistema, se identifican las actividades de soporte que deberán ser proporcionadas por el sistema software. Entre las mismas, se encuentran las actividades de monitorización. El requisito operativo número cuatro («el sistema debe disponer de mecanismos de monitorización que permitan conocer quién ha accedido al sistema y que tareas ha realizado.») obliga a la inclusión de actividades de seguimiento de tareas y seguimiento de accesos. Así mismo, y una vez consultado el diagrama de características del dominio, se optó por incorporar actividades de elaboración de informes que permitieran garantizar una de las condiciones instructivas del sistema: la dedicación mínima por parte de los alumnos. La inclusión de esta actividad permitiría utilizar la dedicación de los alumnos como criterio de evaluación del curso. Por último, y a fin de satisfacer el requisito operativo número nueve («el sistema dispondrá de mecanismos para la publicación de resultados»), se incluirán actividades que permitan soportar la retroalimentación informativa.

La selección de las actividades de soporte demuestra una de las ventajas del modelo de dominio elaborado: la completitud del método permite tratar en su conjunto tanto los aspectos instructivos como aquellos relacionado con el sistema software que asiste el proceso, permitiendo la elaboración de soluciones adecuadas al problema instructivo considerado.

- Servicios instructivos. Los servicios instructivos hacen referencia a aquellos servicios concebidos y aplicados únicamente durante el proceso instructivo. Los servicios instructivos más significativos hacen referencia a la realización de tutorías a distancia, la elaboración de portafolios y la elaboración de cuestionarios. De acuerdo con los requisitos del curso, el sistema elaborado únicamente deberá proporcionar servicios que permitan la realización de evaluaciones basadas en cuestionarios.

- Servicios de soporte. Se incluyen en este grupo aquellos servicios que pueden o no ser utilizados durante el proceso instructivo, pero que tiene un uso más general que los hace factibles en otros contextos y situaciones. De acuerdo con los requisitos operativos uno y ocho («el sistema debe disponer de mecanismos de autenticación que imposibiliten el acceso a usuario no autorizados» y «el envío a los alumnos de notificaciones y avisos se podrá realizar a través del sistema y mediante el envío automático de correos electrónicos»), el sistema dispondrá de servicios de autenticación y de mensajería asíncrona, respectivamente. En el caso del requisito ocho, se concretará la característica especificando que dicho servicio será proporcionado mediante correo electrónico. Por último, y a fin de satisfacer el requisito seis («el sistema dispondrá de mecanismos para adjuntar ficheros.»), se incluirá en la configuración del sistema una característica no reflejada en el modelo de dominio: el intercambio de ficheros a través de la herramienta.

Por último, y al igual que se hizo al definir la configuración del proceso instructivo del sistema, se refina el diagrama de características obtenido, añadiendo aquellas cualidades recogidas en los requisitos operativos y de desempeño pero no plasmadas en el modelo de dominio. Entre las mismas, se encuentran todas aquellas características referidas al entorno de despliegue; en particular, características concernientes a la disponibilidad y seguridad del sistema. El resultado final de la actividad de configuración del sistema software se recoge, parcialmente, en la figura C.15. En este punto es importante comentar que algunas de las características añadidas durante la tarea de refinamiento de la configuración (como, por ejemplo, la existencia de accesos concurrentes o la ejecución de copias de seguridad) deberían haber sido definidas como servicios habituales en el dominio; sin embargo, el hecho de haber realizado una prueba de concepto centrada en demostrar la capacidad del método ComBLA para analizar los aspectos instructivos del dominio llevó a simplificar el modelo elaborado. Este hecho no invalida el método, sino que revela la necesidad de concretar y mejorar la actividad de comprobación del modelo, así como la utilidad de disponer de mecanismos que permitan una evolución lo más automática posible del modelo de dominio generado. Ambos factores se han recogido como líneas de actuación que complementen el presente trabajo de investigación.



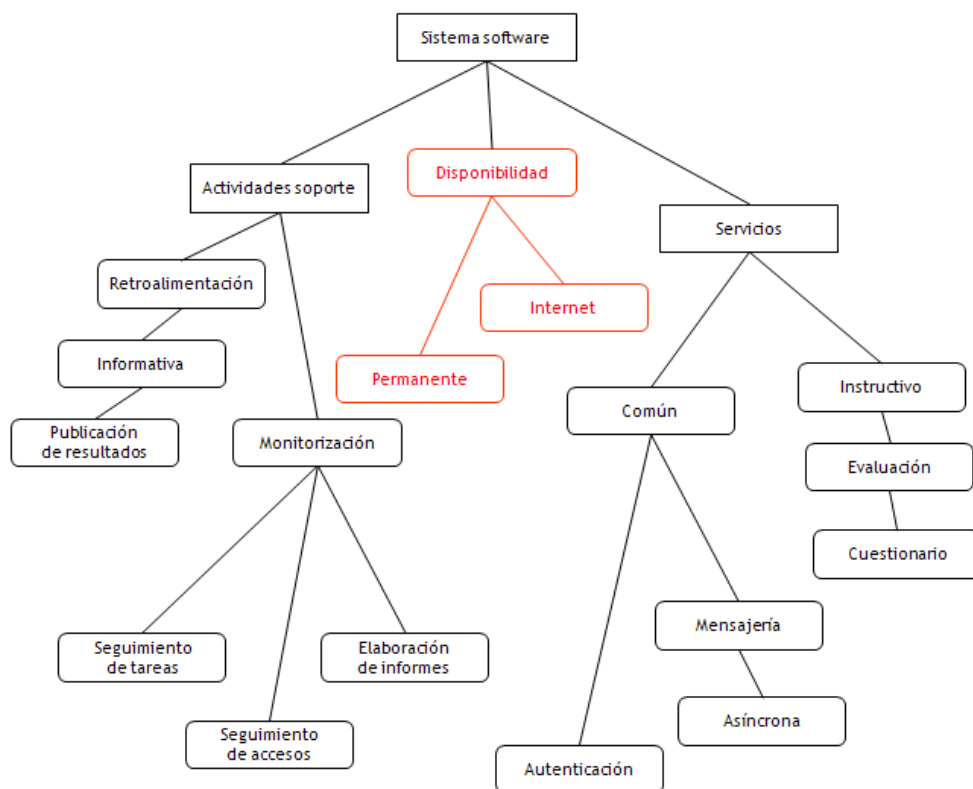


Figura C.15: Extracto de la configuración del sistema - Sistema software

La definición de la configuración del sistema puede resultar útil en un doble sentido: por un lado, puede servir de entrada tanto a la fase de modelado del sistema como a la etapa de despliegue de la aplicación; por otro, puede servir como mecanismo para seleccionar productos ya elaborados o configurar herramientas existentes. En el primer caso, la actividad de configuración del sistema deberá completarse con una labor de modelado que asegure la correcta especificación de las necesidades y condiciones del sistema. La definición del método ComBLA ya contempla una actividad especialmente concebida para alcanzar este objetivo. En el segundo supuesto, la configuración del sistema podrá ser utilizada por individuos con experiencia en el desarrollo de la enseñanza asistida por ordenador para conocer con precisión los requisitos del interesado y establecer la solución más adecuada al problema. Así, por ejemplo, a partir del diagrama de características elaborado podría realizarse la configuración de un curso de iniciación a la programación utilizando Moodle como herramienta de soporte, sin necesidad de desarrollar un sistema software a medida.

## El modelado del sistema

Por último, y aunque quede fuera de los objetivos de esta prueba de concepto, se realizará una breve mención a la labor de modelado del sistema. El modelado del sistema tiene por objeto elaborar una serie de artefactos software que permitan definir el sistema desde distintas puntos de vista. Estos artefactos serán utilizados por los diseñadores del sistema para definir una solución que satisfaga las necesidades y condiciones establecidas en la actividad de alcance del sistema. Tal y como se expuso con anterioridad, el modelado del sistema únicamente será necesario cuando se desee desarrollar un sistema de aprendizaje asistido por ordenador basado en un sistema software específico. En los casos que se recurra a sistemas software de gestión del aprendizaje (LMS) o cualquier tipo de plataformas comerciales, la configuración del sistema será suficiente para elaborar el recurso instructivo correspondiente. En el caso del método ComBLA, se ha propuesto un modelo de sistema formado por cuatro vistas y cinco productos. Las vistas y productos propuestos son:

- Modelo contextual. El modelo contextual plasma aquellas condiciones externas al sistema que condicionan el proceso instructivo y la forma de utilización de la aplicación. El modelo de contexto se recoge en el diagrama de contexto.
- Modelo estructural. El modelo estructural plasma las propiedades y las relaciones de las entidades significativas que intervienen en el proceso instructivo soportado por el sistema. El modelo estructural se plasma en un modelo de entidades.
- Modelo funcional. El modelo funcional especifica la operativa soportado por el sistema. La especificación de la funcionalidad del sistema implica tanto la identificación de las actividades del proceso instructivo como la definición de las acciones propias del sistema. El modelo funcional comprende el catálogo de casos de uso y el diagrama de actividades.
- Modelo de comportamiento. El modelo de comportamiento establece la respuesta del sistema ante una acción del usuario. El modelo de comportamiento representa el intercambio de información producido entre las distintas entidades que componen el sistema. El modelo de comportamiento se detalla mediante diagramas de secuencia.

En cuanto a los productos, se han tomado como referencia distintos artefactos extraídos de la técnica de análisis orientada a objetos. La explicación de esta elección se justifica en dos hechos: (1) La amplia aceptación de la orientación a objetos como técnica de análisis de sistemas software; y (2) El cumplimiento de los principios del diseño para la reutilización por parte del paradigma orientado a objetos. La capacidad de la orientación a objetos para proporcionar reutilización vertical, unida a la capacidad del análisis de dominios para lograr reutilización horizontal, convierte a estas técnicas de análisis en herramientas complementarias y muy adecuadas para fomentar la reutilización de recursos instructivos. Asimismo, existen métodos de desarrollo basados en los principios de la orientación a objetos que ya han demostrado su utilidad en el campo de la enseñanza asistida por ordenador; más aún, determinados modelos de desarrollo, como la guía de buenas prácticas de IMS-LD, aunque no utilizan expresamente la técnica de análisis orientada a objetos, si utilizan algunos artefactos habituales como los diagramas de actividades, los diagramas de secuencia y, especialmente, la definición de casos de uso.

Por lo que respecta al caso práctico contemplado en nuestra prueba de concepto, una vez definida la configuración del sistema, valoradas las características del curso, y estimado el tiempo disponible, se optó por utilizar Moodle como herramienta de soporte. Ante esta situación, el modelado del sistema se limitó a la definición de un diagrama de actividades que recogiera la secuencia de actividades instructivas del curso, la definición de casos de uso que especificarían las actividades de evaluación y la elaboración de un diagrama de contexto reducido que recogiera los recursos software disponibles. Con esta información, más las características recogidas en la configuración del sistema, fue suficiente para desplegar el curso en la herramienta elegida. Este hecho, demuestra la utilidad del método para analizar un sistema software para la instrucción de tipo II (ver capítulo de estado de la cuestión), propósito inicial del trabajo.



# Apéndice D

## Los cuestionarios de evaluación

Los cuestionarios de evaluación presentados a los expertos se pueden clasificar, en función de la temática de las preguntas recopiladas, en tres tipos:

- Cuestionario sobre la definición del método ComBLA. Se plantean una serie de cuestiones sobre la corrección de la definición del método, su consistencia y rigor. Las preguntas pretenden complementar la evaluación realizada sobre la calidad y eficacia de la solución.
- Cuestionario sobre el modelo de análisis. Se plantean una serie de interrogantes sobre la definición del modelo de análisis, especialmente relacionadas con el modelo de dominio. El resultado del cuestionario permite complementar la evaluación realizada sobre la utilidad de la solución.
- Cuestionario sobre el proceso de análisis. Se plantean una serie de interrogantes sobre el proceso de análisis. El cuestionario se completa con preguntas sobre los beneficios aportados por el método ComBLA. El resultado del cuestionario permite complementar la evaluación realizada con anterioridad sobre la eficacia de la solución.

Por último, y a fin de disponer de información estadística sobre el perfil de los evaluadores, se formularon preguntas sobre sus conocimientos, áreas de interés y experiencia tanto en su campo de conocimiento como en el contexto de la enseñanza asistida por ordenador.

## Datos personales

Nombre y apellidos:

Correo electrónico:

## Información estadística

Por favor, complete la siguiente información referida a su grado de experiencia y tipo de conocimientos. La información tiene un mero fin estadístico.

Campo de conocimiento:

☐ Tecnologías educativas

☐ Ingeniería del software

☐ Educación asistida por ordenador

☐ Otras

Categoría profesional:

☐ Experto en tecnologías educativas

☐ Analista de sistemas

☐ Experto en diseño instructivo

☐ Docente

Años de experiencia en su actividad:

☐ De tres a cinco

☐ De cinco a diez

☐ Más de diez

Grado de experiencia en el campo de la tele-educación:

☐ Bajo

☐ Medio

☐ Alto

Grado de experiencia en el desarrollo de materiales educativos:

☐ Bajo

☐ Medio

☐ Alto

## Evaluación de la solución

Por favor, exprese su opinión acerca de los siguientes aspectos de la solución.

La valoración se ha expresado en una escala Likert de acuerdo a la siguiente codificación: 1. Totalmente en desacuerdo 2. En desacuerdo 3. Indiferente (Con carácter positivo) 4. De acuerdo 5. Totalmente de acuerdo

Además de las cuestiones directas, si lo considera oportuno puede realizar juicios adicionales en el apartado de comentarios habilitado por cada uno de los bloques de preguntas.

Las siguientes cuestiones están relacionadas con la formulación del método. Por favor, exprese su opinión acerca de las distintas cuestiones planteadas siguiendo las normas definidas previamente.

Cuestiones sobre la formulación del método	Valoración				
	1	2	3	4	5
1. La relación entre actividades está establecida con claridad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Existe correspondencia entre los objetivos de una actividad y las tareas acometidas en la misma	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Existe correspondencia entre los objetivos de una actividad y el producto obtenido de la misma	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Las actividades del método le han parecido bien organizadas y estructuradas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. La plantilla de definición de las distintas actividades del método le ha parecido completa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. La plantilla de definición de los distintos modelos del método le ha parecido completa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. La descripción de las actividades del método le ha parecido suficiente para aplicarlas sin disponer de formación previa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

---

**Comentarios adicionales sobre la formulación del método**

---

Las siguientes cuestiones están relacionadas con el modelo de análisis. Por favor, exprese su opinión acerca de las distintas cuestiones planteadas siguiendo las normas definidas previamente.

<b>Cuestiones sobre el modelo de análisis</b>	Valoración				
	1	2	3	4	5
1. La definición de dominio del método permite identificar un dominio instructivo cualquiera	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. La delimitación del dominio instructivo mediante los contenidos es suficiente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Las fuentes de información identificadas se pueden considerar como suficientes para estudiar un dominio instructivo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Las fuentes de información identificadas proporcionan información que podemos calificar como fiable; es decir, sin error y fidedigna	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. La definición de característica le parece correcta: permite identificar las características del dominio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. La estructura jerárquica de un diagrama de características le parece comprensible por individuos sin experiencia en el desarrollo de sistemas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Las facetas definidas para clasificar las características de un dominio instructivo le parecen completas y correctas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

---

**Comentarios adicionales sobre el modelo de análisis**

---



Las siguientes cuestiones están relacionadas con el proceso de análisis. Por favor, exprese su opinión acerca de las distintas cuestiones planteadas siguiendo las normas definidas previamente.

Cuestiones sobre el proceso de análisis	Valoración				
	1	2	3	4	5
1. Las pautas sugeridas para delimitar el alcance de un dominio instructivo le parecen suficientes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Las tareas establecidas para identificar los objetivos educativos le parecen suficientemente detalladas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. La secuencia de tareas definida para delimitar la configuración del sistema le parece minuciosa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. El proceso de análisis definido obliga a considerar el conjunto de factores que intervienen en el desarrollo de un sistema de aprendizaje asistido por ordenador	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. La definición de un modelo de dominio promueve la reutilización de recursos instructivos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. La definición de un modelo de dominio facilita la comunicación entre los participantes en el proceso de análisis del sistema	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. La definición de un modelo de dominio reduce la relevancia de la experiencia en el diseño de la instrucción	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

---

**Comentarios adicionales sobre el proceso de análisis**

---



# Bibliografía

- [1] J.L. Ackrill. *Essays on Plato and Aristotle*. Oxford University Press.
- [2] S.M. Alessi and S.R. Trollip. *Computer-Based Instruction: Methods and Development*. Prentice Hall, 1991.
- [3] S.M. Alessi and S.R. Trollip. *Multimedia for Learning: Methods and Development*. Allyn and Bacon, 2001.
- [4] D.H. Andrews and L.A. Goodson. A comparative analysis of models of instructional design. *Journal of Instructional Development*, 3(4):2–16, 1980.
- [5] G. Arango and R. Prieto-Diaz. Introduction and overview: Domain analysis concepts and research directions. In R. Prieto-Diaz and G. Arango, editors, *Domain Analysis and Software Systems Modelling*, pages 9–33. IEEE Computer Society Press, 1991.
- [6] A. Arnauld and P. Nicole. *La logique ou l'art de penser*. 1662.
- [7] R. Balzer and N. Goodman. Principles of good specification and their implications for specification languages. In N. Gehani and A. McGetrick, editors, *Software Specification Techniques*, pages 25–39. Addison-Wesley, 1986.
- [8] A.A. Barceló. Sobre la idea misma de análisis semántico. *Signos Filosóficos*, 2004.
- [9] D.S. Batory. *Feature models, grammars, and propositional formulas*, volume 3714-2005 of *Lecture Notes in Computer Science*. Springer-Verlag.
- [10] C. Baudoin and G. Hollowell. *Realizing the Object-Oriented Lifecycle*. Prentice Hall, 1996.

- [11] M. Beaney. Conceptions of analysis in early analytic philosophy. *Acta Analytica*, 15:97–115, 2000.
- [12] M. Beaney. Decompositions and transformations: Conceptions of analysis in the early analytic and phenomenological traditions. *Southern Journal of Philosophy*, 40:53–99, 2002.
- [13] M. Beaney. Analysis. In E.N. Zalta, editor, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. 2003.
- [14] D. Benyon, G. Davies, L. Keller, and Y. Rogers. A guide to usability - usability now!, 1990. The Open University.
- [15] E.V. Berard. *Essays on Object-Oriented Software Engineering*. Addison-Wesley, 1993.
- [16] S. Blackburn. *The Oxford Dictionary of Philosophy*. Oxford University Press, 1996.
- [17] B.S. Bloom. *Taxonomy of Educational Objectives, Handbook 1: Cognitive Domain*. Addison-Wesley Publishing Company, 1956.
- [18] G. Booch. *Object-Oriented Analysis and Design with Applications*. Addison-Wesley, 1994.
- [19] G. Booch. *The Unified Modeling Language User Guide*. Addison-Wesley, 1998.
- [20] S. Bostock. Courseware engineering: An overview of the courseware development process, 1996. Recuperado el 8 de junio de 2007 desde <http://www.keele.ac.uk/depts/aa/landt/lt/docs/atceng.htm>.
- [21] J.P. Bowan and M.G. Hinchley. Ten commandments of formal methods. *Computer*, 28(4):56–63, 1995.
- [22] J.P. Bowan and M.G. Hinchley. Ten commandments of formal methods ...ten years later. *Computer*, 39(1):40–48, 2006.
- [23] J.S. Bruner. *Towards a Theory of Instruction*. Harvard University Press, 1966.
- [24] R. Budde, K. Kuhlenkamp, L. Mathiassen, and Zullighoven H. *Approaches to Prototyping*. Springer Verlag, 1984.

- [25] N. Catenazzi, I. Aedo, P. Díez, and L. Sommaruga. The evaluation of electronic books: Guidelines for two practical experiences. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 6(1):91–114, 1997.
- [26] P. Chen. The entity-relationship model: Towards a unified view of data. *ACM Transactions on Database Systems*, 1(1):9–36, 1977.
- [27] P. Chen. English sentence structure and entity relationship diagrams. *International Journal of Information Sciences*, 29(2-3):127–149, 1983.
- [28] D. Clark. Learning and performance glossary, 2005. Recuperado el 8 de junio de 2007 desde <http://www.nwlink.com/~donclark/hrd/glossary.html>.
- [29] E.M. Clarke and J.M. Wing. Formal methods: state of the art and future directions. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 28(4):626–643, 1996.
- [30] P. Clements, L.Ñorthrop, and L.M. Northrop. *Software Product Lines: Practices and Patterns*. Addison Wesley, 2003.
- [31] P. Coad and E. Yourdon. *Object-Oriented Analysis*. Prentice Hall, 1990.
- [32] A. Cockburn. *Writing Effective Use Cases*. Addison-Wesley, 2001.
- [33] IEEE Computer Society Standards Coordinating Committee. *IEEE Std. 610.12-1990 - IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1990.
- [34] Comisión Europea Ministros con competencias en Educación Superior. *Declaración de Bolonia*. Secretaría de Bolonia, 1999. Declaración del 10 de junio de 1999.
- [35] K. Czarnecki. Generative programming. principles and techniques of software engineering based on automated configuration and fragment-based component models, 1998. PhD Thesis, Technical University of Ilmenau.
- [36] K. Czarnecki, T. Bednasch, P. Unger, and U.W. Eisenecker. *Generative programming for embedded software: An industrial experience report*, volume 2487-2002 of *Lecture Notes in Computer Science*. Springer-Verlag, 2002.

- [37] K. Czarnecki, C.H.P. Kim, and K. Kalleberg. Feature models are views on ontologies. In *Proceedings of 10th International Software Product Line Conference*, pages 41–51, 2006.
- [38] D. Dagger, A. O'Connor, Lawles, E. S. Walsh, and V. Wade. Service oriented elearning platforms: From monolithic systems to flexible services. *IEEE Internet Computing Special Issue on Distance Learning*, 2007.
- [39] C. Dean and Whitlock. Q. *A Handbook of Computer-Based Training*. Nichols Publishing Company, 1989.
- [40] F.P. Deek, H. Kimmel, and J.A. McHugh. Pedagogical changes in the delivery of the first-course in computer science: Problem solving, then programming. *Journal of Engineering Education*, 87:313–320, 1998.
- [41] T. Demarco. *Structured Analysis and System Specification*. Prentice Hall, 1979.
- [42] A. Dennis. *Systems Analysis and Design with UML Version 2.0: An Object-oriented Approach*. John Wiley, 2005.
- [43] W. Dick. Enhanced isd: A response to changing environments for learning and performance. In B.B. Seels, editor, *Instrucional design fundamentals: A reconsideration*, pages 13–20. Englewood Cliffs, 1995.
- [44] W. Dick and L. Cary. *The Systematic Design of Instruction*. Harper Collins, 1990.
- [45] S. Diehl. *Software visualization : visualizing the structure, behaviour, and evolution of software*. Springer, 2007.
- [46] D. Diez, I. Aedo, P. Diaz, and C. Fernandez. Dei-check. automating the assessment process to improve the informative feedback. In *Proceedings of 38th Annual Frontiers in Education. FIE 2008*, 2008.
- [47] D. Diez, C. Fernandez, and J.M. Dodero. *Towards An Effective Instructional Engineering Analysis Method*, volume 4227-2006 of *Lecture Notes in Computer Science*. Springer-Verlag.

- [48] D. Diez, C. Fernandez, and J.M. Dodero. Effective analysis and design of computer-supported learning system. In *Proceedings of 6th IEEE Int. Conf. on Advanced Learning Technologies. ICALT 2006*, pages 472–473, 2006.
- [49] D. Diez, C. Fernandez, and J.M. Dodero. A systems engineering analysis method for the development of reusable computer-supported learning systems. *Interdisciplinary Journal of Knowledge and Learning Objects*, 4, 2008.
- [50] S. Dijkstra and J. J. G. van Merriënboer. Plans, procedures, and theories to solve instructional design problems. In S. Dijkstra, N. Seel, F. Schott, and R.D. Tennyson, editors, *Instructional Design: International Perspective. Volume 2 - Solving Instructional Design Problems*, pages 23–43. Lawrence Erlbaum Associates, 1997.
- [51] J.M. Dodero and D. Diez. Model-driven instructional engineering to generate adaptable learning materials. In *Proceedings of 6th IEEE Int. Conf. on Advanced Learning Technologies. ICALT 2006*, pages 1188–1189, 2006.
- [52] J.M. Dodero, S. Sanchez-Alonso, and D. Frosch-Wilke. Generative instructional engineering of competence development programmes. *The Journal of Universal Computer Science*, 13(9):1213–1233, 2007.
- [53] J.M. Dodero, T. Zarraonandia, C. Fernandez, and D. Diez. Generative adaptation and reuse of competence development programmes. *Journal of Interactive Media in Education*, 4, 2007.
- [54] H. Dreyfus and S Dreyfus. *Mind over machine: The power of human intuition and expertise in the era of the computer*. Free Press, 1996.
- [55] G.S. Edmonds, R.C. Branch, and P. Mukherjee. *A Conceptual Framework for Comparing Instructional Design Models*, volume 1042-1629 of *Educational Technology: Research and Development*. Springer.
- [56] X. Ferré and S Vegas. An evaluation of domain analysis methods. In *Proceedings 4th CAiSE Workshop on Exploring Modelling Methods for Systems Analysis and Design*, pages 38–47, 1999.
- [57] M. Fetaji, S. Loskovska, B. Fetaji, and M. Ebibi. Combining virtual learning environment and integrated development environment to enhance e-learning.

- In *Proceedings of 29th Information Technology Interfaces. ITI 2007*, pages 319–324, 2007.
- [58] D.G. Firesmith. *Object-Oriented Requirements Analysis and Logical Design*. Wiley, 1993.
- [59] M. Fowler. *UML Distilled: A Brief Guide to the Standard Object Modelling Language*. Addison-Wesley, 2004.
- [60] Académie française. *Dictionnaire de l'Académie française*. Éditions Fayard, 1994.
- [61] Y. Friedler and A. Shabo. An approach to cost-effective courseware development. *British Journal of Educational Technology*, 22(2):129–138, 1991.
- [62] R.M. Gagne. *Instructional Technology Foundations*. Lawrence Erlbaum Associates, 1987.
- [63] R.M. Gagne, L.J. Briggs, and W.W. Wager. *Principles of Instructional Design*. Wadsworth Publishing, 1992.
- [64] R.M. Gagne and K.L. Medsker. *The Conditions of Learning: Training Applications*. Wadsworth Publishing, 1995.
- [65] C. Gane and T. Sarson. *Structured Systems Analysis: Tools and Techniques*. McDonnell Douglas Information, 1977.
- [66] S. Gaukroger. *Descartes: An Intellectual Biography*. Oxford University Press, 1995.
- [67] G. Génova, M.C. Valiente, and J.Ñubiola. A semiotic approach to uml models. In *Proceedings of the CAiSE 2005 Workshops*, pages 547–557, 2005.
- [68] K. Gomoll. Some techniques for observing users. In *The art of human-computer interface design*, pages 85–90. Addison-Wesley, 1990.
- [69] M. Goodland and C. Ashworth. *SSADM: A practical approach*. McGraw-Hill, 1989.



- [70] P. Goodyear. Foundations for courseware engineering. In R.D. Tennyson, editor, *Automating Instructional design: development and delivery*, pages 7–28. Springer Verlag, 1994.
- [71] P. Goodyear. Infrastructure for courseware engineering. In R.D. Tennyson and A.E. Barron, editors, *Automating Instructional design: Computer-based development and delivery tools*, pages 11–31. Springer Verlag, 1995.
- [72] P. Goodyear. Instructional design environments: Methods and tools for the design of complex instructional systems. In S. Dijkstra, N. Seel, F. Schott, and R.D. Tennyson, editors, *Instructional Design: International Perspective. Volume 2 - Solving Instructional Design Problems*, pages 83–111. Lawrence Erlbaum Associates, 1997.
- [73] P. Goodyear. Effective networked learning in higher education: Notes and guidelines, 2001. Recuperado el 4 de enero de 2008 desde [http://www.csalt.lancs.ac.uk/jisc/guidelines\\_final.doc](http://www.csalt.lancs.ac.uk/jisc/guidelines_final.doc).
- [74] J.D. Gould, S.J. Bodie, and C. Lewis. Making usable, useful, productivity-enhancing computer applications. *Communications of the ACM*, 34(1):74–85, 1991.
- [75] G.L. Gropper. A metatheory of instruction: A framework for analyzing and evaluating instructional theories and models. In C.M. Reigeluth, editor, *Instructional-Design Theories and Models: Overview of their Current Status - Volume I*, pages 37–54. Lawrence Erlbaum Associates, 1983.
- [76] B. Gros, J. Elen, M. Kerres, J. Merriënboer, and M. Spector. Instructional design and the authoring of multimedia and hypermedia systems: Does a marriage make sense? *Educational Technology*, 37(1):48–56, 1997.
- [77] RDF Core Working Group. *Resource Description Framework (RDF)*. W3C Technology & Society Domain, 2004. Version 1.0 Final Specification.
- [78] The Herridge Group. The use of traditional instructional systems design models for elearning, 2004. Recuperado el 6 de febrero de 2007 desde [http://www.herridge.ca/articles\\_reports.html](http://www.herridge.ca/articles_reports.html).

- [79] I. Grützner, G. Ruhe, and D. Pfahl. Systematic courseware development using an integrated engineering style method. In *NETWORKED LEARNING IN A GLOBAL ENVIRONMENT: Challenges and Solutions for Virtual Education*, 2002.
- [80] T. Gruber. Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing. *International Journal Human-Computer Studies*, 43(5-6):907–928, 1995.
- [81] T. Gruber. Ontology. In L. Liu and M. Tamer-Özsum, editors, *Encyclopedia of Database Systems*. Springer-Verlag, 2008.
- [82] K.L. Gustafson and R.M. Branch. What is instructional design? In R.A. Reise and J.V. Dempsey, editors, *Trends and Issues in Instructional Design and Technology*, pages 16–25. Prentice Hall, 2002.
- [83] S. Hadjerrouit. Applying a system development approach to translate educational requirements into e-learning. *Interdisciplinary Journal of Knowledge and Learning Objects*, 3:107–134, 2007.
- [84] J.F. Hair, B. Black, B. Babin, R.E. Anderson, and R.L. Tatham. *Multivariate Data Analysis*. Pearson Education, 2007.
- [85] R. Heinich, M. Molenda, J.D. Russell, and S.A. Smaldino. *Instructional Media and Technologies for Learning*. Prentice Hall, 2001.
- [86] A.R. Hevner, S.T. March, J. Park, and S. Ram. Design science in information systems research. *MIS Quarterly*, 28(1):75–105, 2004.
- [87] J. Hintikka and U. Remes. *The Method of Analysis: Its Geometrical Origin and Its General Significance*. Kluwer Academic Publishers, 1976.
- [88] A. Hunt and D. Thomas. *The Pragmatic Programmer: From Journeyman to Master*. Addison Wesley, 1999.
- [89] A. Hunter and A. Ellis. The development process for courseware material: A computing methodology approach. In *Proceedings of 17th Australasian Society for Computers in Learning in Tertiary Education Conference. ASCILITE-2000*, pages 189–197, 2000.

- [90] IMS. IMS Global Learning Consortium. *IMS Learning Design Best Practice and Implementation Guide*. IMS Global Learning Consortium, 2003. Version 1.0 Final Specification. Technical report.
- [91] IMS. IMS Global Learning Consortium. *IMS Learning Design Information Model*. IMS Global Learning Consortium, 2003. Version 1.0 Final Specification. Technical report.
- [92] INAP. Instituto Nacional de Administración Pública. *METRICA versión 2.1: Metodología de planificación y desarrollo de sistemas de información*. Instituto Nacional de Administración Pública, 1995.
- [93] I. Jacobson. *Object-Oriented Software Engineering: A Use Case Driven Approach*. Addison-Wesley Professional, 1992.
- [94] D.H. Jonassen. Objectivism versus constructivism: Do we need a new philosophical paradigm? *Educational Technology Research & Development*, 39(3):5–14, 1991.
- [95] D.H. Jonassen. *Computers in the Classroom: Mindtools for Critical Thinking*. Prentice Hall, 1996.
- [96] D.H. Jonassen. Designing constructivist learning environments. In C.M. Reigeluth, editor, *Instructional-Design Theories and Models. A New Paradigm of Instructional Theory - Volume II*, pages 215–240. Lawrence Erlbaum Associates, 1999.
- [97] D.H. Jonassen. *Learning to Solve Problems An Instructional Design Guide*. John Wiley & Sons, 2004.
- [98] H. Kaindl. Difficulties in the transition from oo analysis to design. *IEEE Software*, 16(5):94–102, 1999.
- [99] K.C. Kang, S.G. Cohen, J.A. Hess, W.E Novak, and A.S. Peterson. *Feature-Oriented Domain Analysis (FODA) Feasibility Study (CMU/SEI-90-TR-21, ADA 235785)*. Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University, 1990.

- [100] K.C. Kang, S. Kim, J. Lee, K. Kim, E. Shin, and M. Huh. Form: A feature-oriented reuse method with domain-specific reference architectures. *Annals of Software Engineering*, 5:143–168, 1998.
- [101] G. Kearsley. *A Guide to the Design of Instructional Software*. Addison-Wesley, 1986.
- [102] J.E. Kemp. *Instructional Design: A Plan for Unit and Course Development*. Lake Publication Co., 1977.
- [103] J.E. Kemp. *Planning, producing, and using instructional technologies*. HarperCollins College Publishers, 1994.
- [104] D. Kennedy. Software development teams in higher education: An educators view. In *Proceedings of 15th Australasian Society for Computers in Learning in Tertiary Education Conference. ASCILITE-1998*, pages 373–386, 1998.
- [105] A. Kenny. *Breve historia de la filosofía occidental*. Ed. Paidó, 2005.
- [106] R. Koper. An introduction to learning design. In R. Koper and Tattersall. C., editors, *Learning Design. A Handbook on Modelling and Delivering Networked Education and Training*, pages 3–19. Springer Berlin Heidelberg, 2005.
- [107] C. Larman. *Applying UML and Patterns: An Introduction to Object-oriented Analysis and Design and Iterative Development*. Prentice-Hall, 2005.
- [108] R. Likert. A technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology*, 140:1–55, 1932.
- [109] M. Liu, S. Gibby, O. Quiros, and E. Demps. The challenge of being an instructional designer for new media development: A view from the practitioners. In *Proceedings of World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications 2002*, pages 1151–1157, 2002.
- [110] S. Liu and R. Adams. Limitations of formal methods and an approach to improvement. In *Proceedings of the Second Asia Pacific Software Engineering Conference*, pages 498–521, 1995.
- [111] S.A. Lloyd. Hobbes’s moral and political philosophy. In Edward N. Zalta, editor, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. 2002.

- [112] T. Markham and J. Mergendoller. *Project Based Learning Handbook*. Buck Institute for Education, 2003.
- [113] J. Martin. *Principles of Object-Oriented Analysis and Design*. Prentice Hall, 1992.
- [114] J. Martin and J.J. Oden. *Object-Oriented Analysis and Design*. Prentice Hall, 1992.
- [115] J.P. Matheron. *Merise. Metodología de desarrollo de sistemas. Teoría aplicada*. Paraninfo, 1990.
- [116] C.M. Mitchel and G.A. Sundstrom. Human interaction with complex systems: Design issues and research approaches. *IEEE Transactions On Systems, Man and Cybernetics*, 23(3):175–188, 1997.
- [117] G.R Morrison, S.M. Ross, and J.E. Kemp. *Designing Effective Instruction*. John Wiley & Sons, 2004.
- [118] J.Ñeighbors. Software construction using components, 1981. PhD Dissertation, University of California.
- [119] L.M. Nelson. Collaborative problem solving. In C.M. Reigeluth, editor, *Instructional-Design Theories and Models. A New Paradigm of Instructional Theory - Volume II*, pages 241–268. Lawrence Erlbaum Associates, 1999.
- [120] ONU. Organización de las Naciones Unidas. *Declaración Universal de los Derechos Humanos*. Organización de las Naciones Unidas, 1948. Resolución 217 A (iii) del 10 de diciembre de 1948 de la Asamblea General.
- [121] M. Page-Jones. *Practical Guide to Structured Systems Design*. Prentice Hall, 1988.
- [122] G. Paquette. *Instructional Engineering in Networked Environments*. Pfeiffer-Wiley, 2004.
- [123] J. Preece, Y. Rogers, and H. Sharp. *Interaction Design: beyond human computer interaction*. John Wiley & Sons, 2002.

- [124] R.S. Pressman. *Software Engineering: A Practitioner's Approach*. McGraw-Hill, 2004.
- [125] R. Prieto-Diaz. Domain analysis: An introduction. *Software Engineering Notes*, 15(3):47–54, 1990.
- [126] RAE. Real Academia de la Lengua Española. *Diccionario de la lengua española*. Espasa Calpe, 2001.
- [127] T. Reenskaug, P. Wold, and O.A. Lehne. *Working with Objects: The OOram Software Engineering Method*. Manning,, 1996.
- [128] C.M. Reigeluth. Instructional design: What is it and why is it? In C.M. Reigeluth, editor, *Instructional-Design Theories and Models: Overview of their Current Status - Volume I*, pages 3–30. Lawrence Erlbaum Associates, 1983.
- [129] C.M. Reigeluth. What is instructional-design theory and how is it changing. In C.M. Reigeluth, editor, *Instructional-Design Theories and Models. A New Paradigm of Instructional Theory - Volume II*, pages 5–29. Lawrence Erlbaum Associates, 1999.
- [130] R.A. Reiser. What field did you say you were in? defining and naming our field. In R.A. Reiser and J.V. Dempsey, editors, *Trends and Issues in Instructional Design and Technology*, pages 5–15. Prentice Hall, 2002.
- [131] F. Riley. *Understanding IT: Developing Multimedia Courseware*. Information Technology Training Initiative (ITTI) - University of Hull, 1995.
- [132] A. Robins, J. Rountree, and N. Rountree. Learning and teaching programming: A review and discussion. *Computer Science Education*, 13(2):137–172, 2003.
- [133] M.D. Roblyer. Instructional design verses authoring of courseware: Some crucial differences. *AEDS Journal*, 14:173–181, 1981.
- [134] J. Rubin. *Handbook of usability testing*. John Wiley & Sons, 1994.
- [135] J. Rumbaugh, M.R. Blaha, W. Lorensen, F. Eddy, and W. Premerlani. *Object-Oriented Modeling and Design*. Prentice Hall, 1990.

- [136] J. Rumbaugh, I. Jacobson, and G. Booch. *The Unified Modeling Language Reference Manual, Second Edition*. Addison-Wesley, 2005.
- [137] W. Russell. Instructional system development. In *Proceedings of the International Congress for Individualized Instruction*, pages 209–239, 1981.
- [138] W. Scacchi. Process models in software engineering. In J.J. Marciniak, editor, *Encyclopedia of Software Engineering*, pages 612–621. John Wiley & Son, 2002.
- [139] R. Sierra-Bravo. *Tesis Doctorales y Trabajos de Investigación Científica*. Thomson Paraninfo, S.A., 2005.
- [140] H.A. Simon. *The Sciences of the Artificial*. MIT Press, 1996.
- [141] M. Simos and et al. *Software Technology for Adaptable Reliable Systems (STARS) Organization Domain Modeling (ODM) Guidebook Version 2.0 (STARS-VC-A025/001/00)*. Lockheed Martin Tactical Defense Systems, 1996.
- [142] J.A. Simpson. *The Oxford English Dictionary*. Clarendon Press, 2001.
- [143] B.F. Skinner. *The Science of Learning and the Art of Teaching*. Harvard Educational Review, 1954.
- [144] J.M. Spector and D.J. Muraida. Automating instructional design. In S. Dijkstra, N. Seel, F. Schott, and R.D. Tennyson, editors, *Instructional Design: International Perspective. Volume 2 - Solving Instructional Design Problems*, pages 59–81. Lawrence Erlbaum Associates, 1997.
- [145] R.D. Tennyson. A framework for an automated instructional design advisor. In J.M. Spector, M. Polson, and D. Muraida, editors, *Automating Instructional Design: Concepts and issues*, pages 191–212. Educational Technology Publications, 1993.
- [146] R.D. Tennyson. Instructional system development: The fourth generation. In R.D. Tennyson and A.E. Barron, editors, *Automating Instructional Design: Computer-Based Development and Delivery Tools*, pages 33–78. Springer Verlag, 1995.

- [147] R.D. Tennyson, J.M. Spector, J.J. Gonzalez, P.I. Davidsen, and D.J. Muraida. Employment of system dynamics in modeling of instructional design. In R.D. Tennyson and A.E. Barron, editors, *Automating Instructional Design: Computer-Based Development and Delivery Tools*, pages 604–609. Springer Verlag, 1995.
- [148] M. Tessmer and D. Harris. *Analysing the instructional setting*. London: Kogan Page Limited, 1992.
- [149] M. Tessmer and R. Richey. The role of context in learning and instructional design. *Educational Technology, Research and Development*, 45:85–111, 1997.
- [150] S.D. Tripp and B. Bichelmeyer. *Rapid prototyping: An alternative instructional design strategy*, volume 1042-1629 of *Educational Technology Research and Development*. Springer-Verlag.
- [151] R. Vienneau. A review of formal methods. In R.H. Thayer and M. Dorfman, editors, *Software Engineering*, pages 3–19. Springer Berlin Heidelberg, 1996.
- [152] S. Wilson, K. Blinco, and D. Rehak. Service oriented frameworks: Modelling the infrastructure for the generation of e-learning systems, 2004. Recuperado el 15 de enero de 2008 desde <http://www.elframework.org/general>.
- [153] J.M. Wing. Formal methods. In J.J. Marciniak, editor, *Encyclopedia of Software Engineering*, pages 504–517. John Wiley & Son, 2002.
- [154] C.L. Witt and W. Wager. A comparison of instructional systems design and electronic performance systems design. *Educational Technology*, pages 20–24, 1994.
- [155] E. Yourdon. *Modern Structured Analysis*. Prentice Hall, 1988.